N° d'ordre : 91

THESE

présentée

A L'INSTITUT NATIONAL DES SCIENCES APPLIQUEES DE TOULOUSE

pour l'obtention

du DIPLOME de DOCTEUR-INGENIEUR

Chimie Industrielle - L'Eau les Nuisances

par

Badar GHAURI M.K.

Master of Engineering

(AIT Bangkok, Thailande)

CONTRIBUTION A L'ETUDE DE LA CIRCULATION ET DU TRANSFERT D'OXYGENE DANS LES BASSINS D'AERATION

Soutenue le 3 mars 1983 devant la commission d'examen :

MM. H. ROQUES, Professeur à l'I.N.S.A. de TOULOUSE	PRESIDENT
R. BEN AIM, Professeur à l'I.N.P. de TOULOUSE	EXAMINATEURS
M. ROUSTAN, Professeur à l'I.N.S.A. de TOULOUSE	EXAMINATEURS
J.M. ROVEL, Ingénieur SOC. à DEGREMONT	EXAMINATEURS

LIBRARY
USDA

d'ordre : 91

THESE

présentée

A L'INSTITUT NATIONAL DES SCIENCES APPLIQUEES DE TOULOUSE

pour l'obtention

du DIPLOME de DOCTEUR-INGENIEUR

Chimie Industrielle - L'Eau les Nuisances

par

Badar GHAURI M.K.

Master of Engineering

(AIT Bangkok, Thailande)

CONTRIBUTION A L'ETUDE DE LA CIRCULATION ET DU TRANSFERT D'OXYGENE DANS LES BASSINS D'AERATION

Soutenue le 3 mars 1983 devant la commission d'examen :

MM. H. ROQUES, Professeur à l'I.N.S.A. de TOULOUSE	PRESIDENT
R. BEN AIM, Professeur à l'I.N.P. de TOULOUSE	EXAMINATEURS
M. ROUSTAN, Professeur à l'I.N.S.A. de TOULOUSE	
J.M. ROVEL, Ingénieur SOC. à DEGREMONT	

GHAURI M.K. Badar.

"Contribution à l'étude de la circulation et du transfert d'oxygène dans les bassins d'aération".

Nombre de pages : 130.
Thèse de Docteur Ingénieur : Chimie Industrielle - L'eau, les Nuisances, I.N.S.A. (Toulouse), 1983.
N° d'ordre : 91.

RESUME : L'objectif de cette étude est de :

- caractériser la circulation dans les bassins d'aération en fonction de paramètres géométriques
- apporter des informations concernant le transfert d'O_2 dans les mêmes bassins.
- étudier l'influence de la taille de l'installation pour définir des critères d'extrapolation.

Il est montré que la vitesse en fond du bassin est la grandeur qui conditionne la mise et le maintien en suspension des solides. Des corrélations sont proposées pour définir la vitesse en fond en fonction de différentes variables.
Le transfert d'O_2 dans les bassins est caractérisé par le facteur du transfert Kla.
Les résultats expérimentaux sont obtenus sur des bassins de volume compris entre 0.037 m3 et 180 m3. Une corrélation générale est proposée reliant Kla aux paramètres géométriques des bassins et le débit gazeux introduit. Enfin, les critères d'extrapolation concernant la circulation et le transfert d'O_2 sont proposés en les comparant aux critères qui sont couramment utilisés jusqu'à maintenant.

MOTS-CLES :
Traitement des eaux, bassin d'aération à boues activées, hydrodynamique et circulation du liquide, transfert de l'oxygène critères d'extrapolation.

JURY ET DATE DE SOUTENANCE : le 3 mars 1983.

Président : MM. H. ROQUES Professeur I.N.S.A. Toulouse
R. BEN AIM Professeur I.N.P. Toulouse
M. ROUSTAN Professeur I.N.S.A. Toulouse
J.M. ROVEL Professeur SOC. DEGREMONT.
Laboratoire de Chimie et de l'environnement I.N.S.A Toulouse.

DEPOT à la Bibliothèque Universitaire en 64 exemplaires.

Ce travail a été effectué dans le Laboratoire de Chimie et Génie de l'environnement de l'Institut National des Sciences Appliquées de TOULOUSE.

Je remercie, très sincèrement, Monsieur le Professeur ROQUES, Directeur du département de Génie des procédés Industriels qui m' a accueilli dans son laboratoire et m'a fait l'honneur d'accepter la présidence du jury de cette thèse.

Je tiens à exprimer ma profonde et sincère reconnaissance à :

- Monsieur BEN AIM qui a bien voulu s'intéresser à ce travail. Je suis très conscient de l'honneur qu'il m'a fait en faisant partie du jury.

- Monsieur ROUSTAN qui m'a permis de mener à bien cette étude par ses encouragements, ses conseils, son aide efficace et la confiance qu'il m'a témoignée jusqu'à la fin de ce mémoire. Qu'il veuille bien trouver ici, l'expression de ma profonde gratitude.

- Monsieur ROVEL, pour avoir accepté de participer au jury en tant que praticien des problèmes de traitement des eaux.

Je tiens également à exprimer ma gratitude à l'ensemble de mes amis de l'équipe de recherche et au personnel

technique du Laboratoire auprès desquels j'ai trouvé un esprit de totale collaboration.

Je ne voudrais pas terminer sans remercier le Gouvernement Français pour les moyens financiers qui m'ont été accordés pendant la durée de ce travail.

TABLE DES MATIERES

-o-o-o-

CHAPITRE I - BUT ET OBJECTIFS D'ETUDE.
DISPOSITIFS EXPERIMENTAUX 1

I.1.- OBJECTIFS DE L'ETUDE 2
I.2.- DISPOSITIFS EXPERIMENTAUX 4
I.2.1.- Bassin d'aération 4
I.2.2.a - Méthode de mesure d'une vitesse locale par micro-moulinet..... 8
b - Mesure de l'oxygène dissous 8
I.2.3.- Diffuseurs 10

CHAPITRE II - CIRCULATION DANS LES BASSINS D'AERATION.. 15

II.1.- APPROCHE THEORIQUE 16
II.1.1.- Revue bibliographique 18
II.1.2.- Autre approche 24
II.2.- RESULTATS EXPERIMENTAUX 29
II.2.1.- Vitesse en fond du bassin "V_f"... 29
II.2.2.- Influence du type du diffuseur... 35
II.2.3.- Influence des facteurs géométriques 36
II.2.3.A- Influence de la hauteur d'eau... 36
II.2.3.B- Position du diffuseur 37
Déplacement vertical du diffuseur
Déplacement horizontal du diffuseur.
II.2.3.C- Position du diffuseur dans le bassin cylindrique 40
II.2.4.- Influence de la taille de l'installation 42
II.2.5.- Profil de vitesse 45
II.3.- CONCLUSION 53

CHAPITRE III - MISE ET MAINTIEN EN SUSPENSION DES SOLIDES..... 55

III.1.- INTRODUCTION..... 56

III.2.- EXPERIMENTATION AVEC LES PARTICULES SPHERIQUES..... 58

III.2.1.- Choix des particules..... 58

III.2.2.- Mesure des vitesses de chute..... 58

III.2.3.- Définitions..... 58

a - Temps total d'expérience..... 59

b - Temps total passé au fond..... 59

c - Débit d'air minimum G_{mini}..... 60

d - Débit d'air maximum G_{max}..... 60

III.3.- RESULTATS EXPERIMENTAUX..... 61

III.4.- EXPERIMENTATION AVEC LA CHICOREE ET LES BOUES..... 65

III.5.- CONCLUSION..... 70

CHAPITRE IV - TRANSFERT D'OXYGENE DANS LES BASSINS D'AERATION..... 71

IV.1.- PRINCIPE DE LA METHODE DE DETERMINATION DU "KLA"..... 75

IV.2.- RESULTATS EXPERIMENTAUX..... 78

IV.2.1.- Influence du débit d'air..... 78

IV.2.2.- Influence de la hauteur d'eau..... 79

IV.2.3.- Influence de la taille de l'installation..... 84

IV.2.4.- Rendement d'oxygénation "r"..... 91

IV.2.5.- Immersion du diffuseur..... 92

IV.3.- CONCLUSION..... 99

CHAPITRE V - EXTRAPOLATION DES RESULTATS..... 101

V.1.- EXTRAPOLATION..... 102

V.2.- REMARQUES..... 106

CHAPITRE VI - CONCLUSION GENERALE..... 107

NOMENCLATURE..... 112

BIBLIOGRAPHIE..... 117

ANNEXE "A" "MESURE DE VITESSE"..... 120

ANNEXE "B" "RESULTATS DE TRANSFERT D'OXYGENE"..... 125

*

C H A P I T R E I

-oOo-

BUT ET OBJECTIFS D'ETUDE
DISPOSITIFS EXPERIMENTAUX

-oOo-

I.1. Objectifs de l'étude

I.2. Dispositifs expérimentaux.

I.1. OBJECTIF DE L'ETUDE.-

Les bassins d'aération sont le "coeur"d'un des procédés d'épuration des eaux les plus répandus, à savoir les procédés biologiques à boues activiées. Dans ce procédé aérobie, la biomasse présente assimile la matière organique constituant la pollution. Afin de maintenir cet état aérobie plusieurs systèmes peuvent être utilisés :

- aérateurs de surface (brosse, turbine et jet liquide),
- aérateurs de volume (diffuseur poreux, statiques et éjecteurs...).

Nous nous sommes particulièrement intéressés aux systèmes d'aération par diffuseurs, situés au fond du bassin où l'air est dispersé sous forme de bulles en ascension libre. L'air diffusé satisfait non seulement la demande d'oxygène des microorganismes mais fournit aussi l'énergie pour créer une circulation dans le bassin qui permet de :

- maintenir en suspension les solides et donc assurer le contact entre le micro-organisme et le substrat,
- favoriser le transfert de matière des différentes substances.

Les objectifs spécifiques de cette étude sont les suivants :

- étudier le phénomène de circulation du liquide dans le but de pouvoir prévoir les débits de circulation en fonction des paramètres géométriques des bassins,
- apporter les informations concernant le transfert d'oxygène en fonction des paramètres géométriques des bassins d'aération,
- étudier l'influence de la taille du bassin sur le transfert d'oxygène et la circulation, à savoir définir des critères d'extrapolation.

Les paramètres géométriques concernés sont :

- les dimensions du bassin,
- la hauteur d'eau au-dessus du système d'aération,
- la position du système d'aération,
- la géométrie du bassin.

I.2. DISPOSITIFS EXPERIMENTAUX.-

1.2.1. Bassin d'aération.

Pour mener cette étude, nous disposons d'une série de bassins d'aération :

- trois bassins rectangulaires désignés B_1, B_2 et B_3, situés à l'INSA de Toulouse,
- un bassin cylindrique B_4 situé à l'INSA de Toulouse,

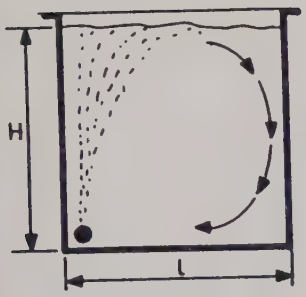
dont les schémas sont illustrés sur la figure 1.

Les caractéristiques géométriques sont données dans le tableau 1. Les bassins sont construits en P.V.C. avec les côtés transparents pour permettre de visualiser l'écoulement de l'eau.

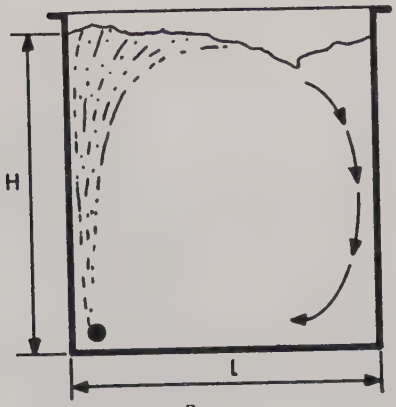
En même temps, une étude similaire dans le cadre d'un projet intégré France-Quebec a été faite en collaboration avec l'Université de Sherbrooke qui dispose de deux bassins d'aération de forme octangulaire. Ces bassins B_5 et B_6 sont de forme intermédiaire entre nos bassins B_1, B_2, B_3 et B_4.

Un bassin pilote B_7 dont la forme géométrique est représentée par un secteur de couronne a été également utilisé.

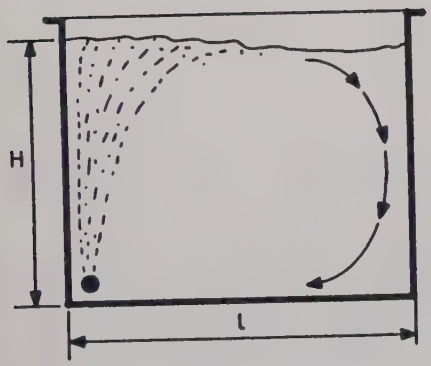
Enfin, quelques essais complémentaires ont pu être réalisés sur un bassin B_8, en vraie grandeur, de géométrie identique au bassin B_7.



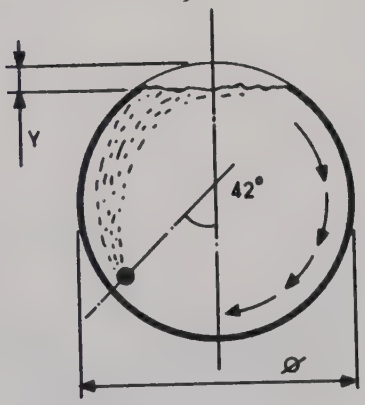
B_1



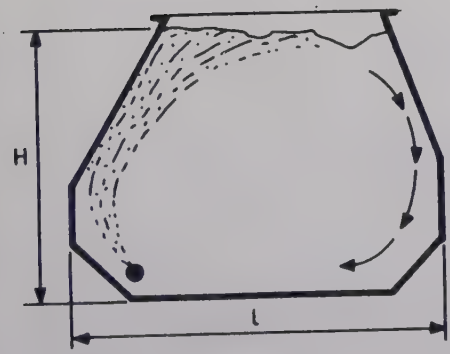
B_3



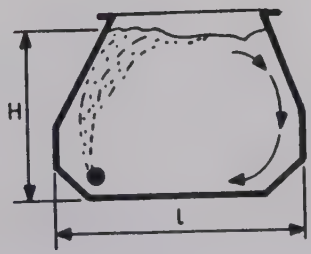
B_2



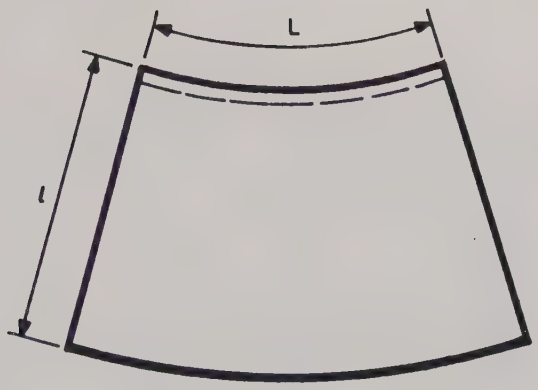
B_4



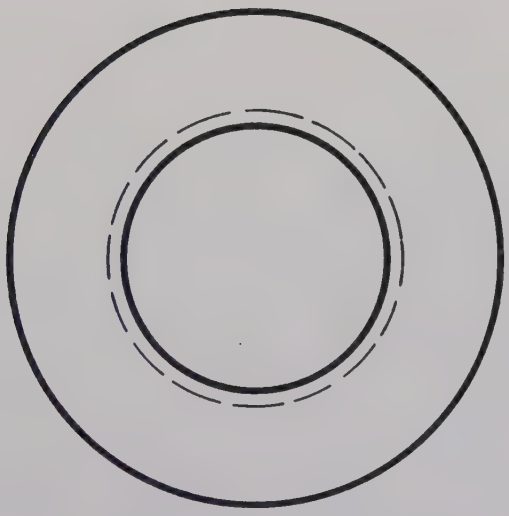
B_5



B_6



B_7



B_8

FIGURE 1 : Schéma des bassins utilisés.

Forme du bassin	Longueur (mm)	Largeur (ou diamètre) (mm)	Hauteur utiles(ou Y) (mm)	Identification
Rectangulaire	1430	295	220	B_1, a
			295	B_1, b
			380	B_1, c
	1380	684	380	B_2, a
			450	B_2, b
			520	B_2, c
	1460	750	375	B_3, a
			400	B_3, b
			575	B_3, c
			660	B_3, d
			750	B_3, e
			950	B_3, f
Circulaire	1500	Ø = 675	y = 50	B_4, a
			y = 150	B_4, b
Intermédiaire	1630	700	513	B_5
	653	283	205	B_6
Pilote	1800	1650	1350	B_7, a
			1730	B_7, b
Vrai grandeur	24000	2300	3000	B_8

TABLEAU 1 : CARACTERISTIQUES GEOMETRIQUES DES BASSINS.-

1.2.2.a. Méthode de mesure d'une vitesse locale par micro-moulinet.

Nous avons effectué des mesures de vitesse locales d'une part sur un plan vertical normal à l'axe longitudinal du bassin pour avoir le profil de vitesse, d'autre part, près du fond du bassin pour avoir la vitesse d'écoulement horizontale au fond.

Ces mesures ont été faites à l'aide d'un micro-moulinet OTT C_2. Le moulinet comprend deux parties, une hélice à très faible inertie et un compteur magnétique qui affiche les nombre de tours faits par l'hélice pendant une durée déterminée.

La vitesse du fluide est déterminée à partir d'une courbe d'étalonnage du moulinet fournie par le fabriquant.

Un schéma explicatif de ce moulinet est indiqué dans la figure 2.

b. Mesure d'oxygène dissous.

Nous avons utilisé des sondes à oxygène dissous type "YSI" connectées aux oxymètres "YSI". La méthode de détermination du facteur de transfert est donnée au chapitre IV.

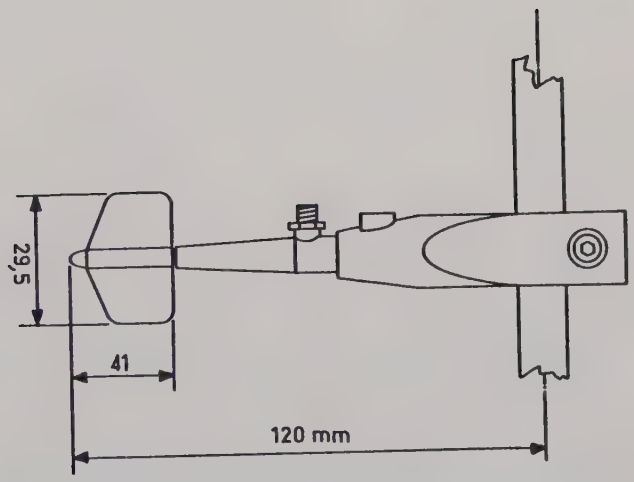


FIGURE 2 : Schéma du moulinet OTT C_2

1.2.3. Diffuseurs.

Il existe sur le marché de nombreux types de diffuseurs générateurs de bulles. Ils sont classés en général suivant la grosseur des bulles engendrées :

- fines bulles : diamètre de 3 mm en moyenne au départ,
- moyennes bulles : diamètre de 4 à 6 mm en moyenne au départ,
- grosses bulles : diamètre supérieur à 6 mm.

Les systèmes à grosses bulles sont aujourd'hui quasiment abandonnés. Les dispositifs à moyennesbulles sont utilisés sur les petites et moyennes stations d'épuration.

Nous avons utilisé deux types de diffuseurs :

a) tubes percés en P.V.C.
b) tubes poreux en polyéthylène.

Le tableau 2 donne une description des différents types de diffuseurs utilisés durant nos expériences.

Comme diffuseur poreux, nous avons utilisé des tubes en plastique micro-poreux "Aerox" (commercialisé par la S.N. Filtres Philippe) qui permettent l'obtention de bulles de petit diamètre.

Bassin	Type de diffuseur	Ø tube extérieur (mm)	Trous. Ø	Espace entre les deux trous
B_1	Tube poreux	15 mm	-	-
	Tube percé	12 mm	1 mm	20 mm
B_2	Tube poreux	15 mm	-	-
	Tube percé	12 mm	1 mm	20 mm
B_3	Tube poreux	15 mm	-	-
	Tube percé	16 mm	1 mm	20 mm
$B_{5/6}$	Tube percé	16 mm	1 mm	10 mm
B_4	Tube percé	16 mm	1 mm	30 mm
B_7	Lame souple	-	-	-
	Tube percé	16 mm	2 mm	30 mm
B_8	Lame vibrante	-	-	-

TABLEAU 2 - DETAILS DES SYSTEMES DE DISPERSION.

Dans les bassins B_1, B_2, B_3 et B_4, les diffuseurs (tubes poreux, tubes percés) ont été placés longitudinalement. Cet arrangement longitudinal correspond au placement du tube diffuseur au fond tout près d'une paroi et tout le long du bassin.

Dans les deux bassins B_3 et B_4, les diffuseurs ont été déplacés afin d'en étudier l'effet sur la circulation et le transfert. Pour le bassin B_3, ce diffuseur a été positionné dans les deux plans, vertical et horizontal, le placement horizontal du diffuseur se faisait au fond du bassin tandis que le placement vertical du diffuseur s'est effectué toujours tout près d'une paroi en montant vers la surface d'eau (Fig.3). Pour le bassin B_4, nous avons choisi 4 positions (voir figure 4).

Les débits d'air introduits ont été mesurés par des rotamètres KROHNE ou GAP-meter préalablement étalonnés. Une mesure de perte de charge au niveau du diffuseur nous permet de transformer les débits lus en débits réels par l'équation suivante :

$$G_R = G_L \cdot \sqrt{\frac{760 + \Delta p}{760}}$$

Δp - perte de charge (mm Hg).

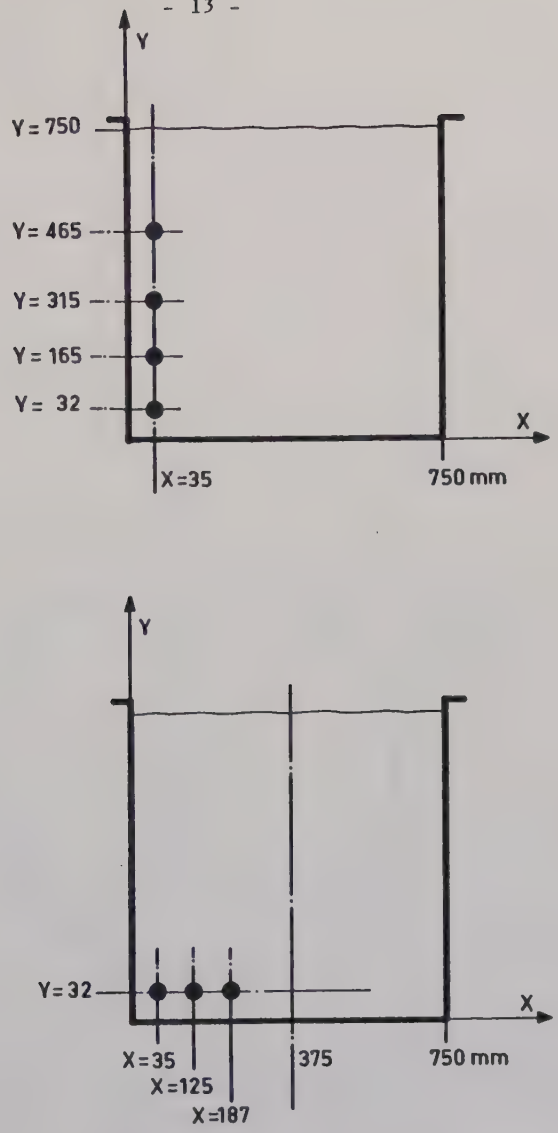


FIGURE 3 : Schéma illustratif du déplacement du diffuseur B_3

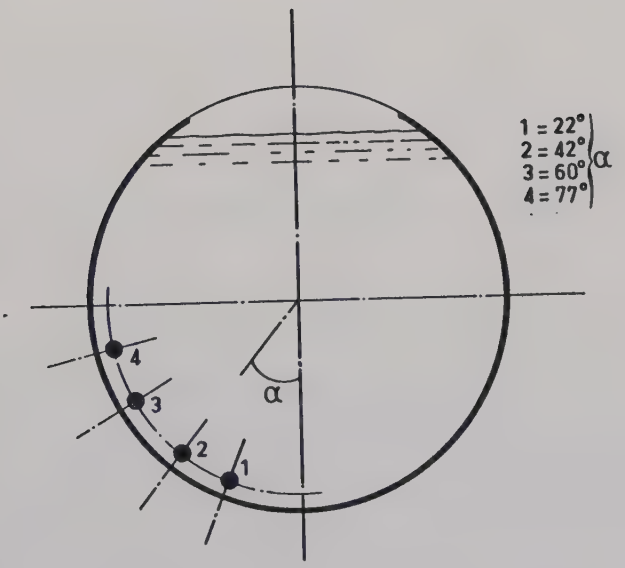


FIGURE 4 : Différentes positions utilisées dans le Bassin B_4.

C H A P I T R E II

-oOo-

CIRCULATION DANS LES BASSINS D'AERATION

-oOo-

II.1. Approche théorique

II.2. Résultats expérimentaux

II.3. Conclusion.

Ce chapitre est consacré à la caractérisation de l'écoulement dans un bassin d'aération. Nous avons choisi comme critère :

- la vitesse d'écoulement V_f du liquide dans le fond du bassin qui est responsable de la mise et du maintien en suspension des particules solides
- le profil de vitesse qui permet de calculer la vitesse moyenne $\overline{V}$ d'écoulement dans le bassin et le débit de circulation transversal Q_c.

Les résultats expérimentaux seront analysés en étudiant en particulier l'influence des paramètres opératoires (débit gazeux, géométrie du bassin), sur les critères choisis pour caractériser la circulation.

II.1. APPROCHE THEORIQUE.-

Si on observe l'écoulement engendré dans un bassin d'aération muni d'un système de dispersion d'air le long de la paroi, on peut faire les remarques suivantes (Fig. 5).

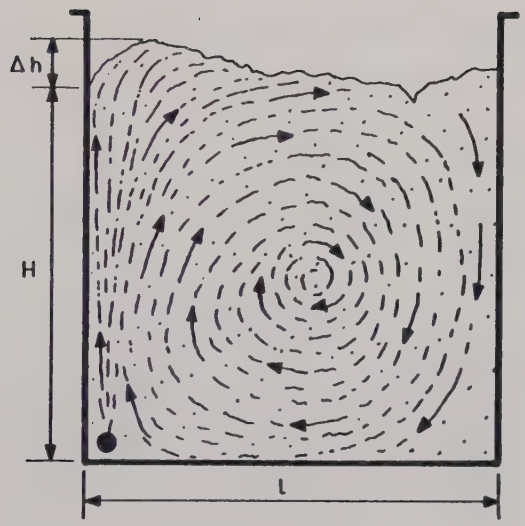


FIGURE 5 : Profil de l'écoulement dans un bassin.

- les bulles d'air en montant le long des parois, créent une augmentation du niveau liquide uniquement sur une partie de la surface libre du bassin. Cette dénivellation (équivalente à un déversoir) met en mouvement le liquide du bassin,
- il existe un axe de symétrie pour l'écoulement d'ensemble que nous appellerons "Oeil de circulation".

- quand la hauteur d'eau est quasiment égale à la largeur du bassin l'oeil se situe au centre de la section droite du bassin,
- un profil de vitesse se met en place avec une vitesse maximale près du fond et en surface du bassin.

II.1.1 Revue Bibliographique :

ABRAHAM (1) a appliqué la théorie de l'écoulement d'un jet dans un milieu infini. En supposant que le mélange Air-Eau constituant le jet mixte est un fluide homogène, il propose (Fig. 6) :

$$\frac{Um}{U'} = 2.1\ Fr^{-2/3} \qquad (1)$$

Um : vitesse du liquide dans l'axe central du panache ascensionnel

U' : vitesse initiale du jet

Fr : nombre de Froude.

Le nombre de Froude est défini par :

$$Fr = \frac{U'}{\sqrt{\frac{\rho - \rho'}{\rho} \cdot g.B}} \qquad (2)$$

FIGURE 6 : Jet mixte Air-Eau.

ou : ρ' : masse volumique du mélange "Air-Eau"

ou bien masse volumique de fluide local du jet

ρ : masse volumique de l'eau

g : accélération de la pesanteur

B : largeur du diffuseur.

Le débit (Air-Eau) à travers de diffuseur :

$q' + q = U'B$

q' : débit de circulation d'eau par unité de longueur du bassin

q : débit gazeux par unité de longueur du bassin ($q = G/L$).

La masse volumique initiale :

$q \times 0 + q'\rho = (q + q')\rho'$

Donc $\frac{\Delta \rho}{\rho} = \frac{\rho - \rho'}{\rho} = \frac{q}{q + q'}$

En substituant $\frac{\rho - \rho'}{\rho}$ dans l'équation (2), on obtient :

$$Fr = \frac{U'}{\sqrt{\frac{q}{q + q'} \cdot g \cdot B}} \qquad (3)$$

En remplaçant le nombre de Fronde dans l'équation (1) par celui de l'équation (3), il obtient :

$$Um = 2.1\ (g.q)^{1/3}$$

ou $$\boxed{Um = 2.1\ (g.G/L)^{1/3}} \qquad (4)$$

Le terme $(g.\ \frac{G}{L})^{1/3}$ a les dimensions d'une vitesse et est donc la vitesse caractéristique du système.

ABRAHAM (1) et SJÖBERG (2) ont ensuite appliqué ces résultats à un système à deux dimensions limité par le système de dispersion et la surface de l'eau.

HARREMÖES (3) a émit l'hypothèse que cette théorie pourrait s'appliquer à un système confiné, tel qu'un bassin d'aération. Il a réalisé les mesures de la vitesse dans les bassins ayant les dimensions de 400 mm à 800 mm et des rapports H/l ($\frac{\text{Hauteur}}{\text{Largeur}}$) variant dans la gamme de 2 à 0.75.

Il a utilisé les balles isodenses en matière plastique pour déterminer le mouvement du liquide. Ensuite, en prenant des photos à intervalles de temps connus, il a calculé la vitesse de circulation du liquide.

HARREMÖES (3) a proposé les équations suivantes pour les différentes vitesses dans un bassin d'aération :

La vitesse en fond "V_f"

$$\frac{V_f}{(g.G/L)^{1/3}} = 2.5\ (1 + \frac{H}{l})^{-0.86} \qquad (5)$$

La vitesse en surface "V_s"

$$\frac{V_s}{(g.\frac{G}{L})^{1/3}} = 3.65\ (1 + H/l)^{-0.86}$$

La vitesse moyenne de circulation : $\bar{V}$

$$\frac{\bar{V}}{(g\ \frac{G}{L})^{1/3}} = 0.95\ (1 + \frac{H}{l})^{-1.27}$$

avec G : débit gazeux $L^3\ T^{-1}$

L : longueur du bassin L

l : largeur du bassin L

H : hauteur d'eau L

Sur la fig. (7) sont reportés les résultats expérimentaux d'HARREMOES (3) "$V_f\ V_s\ (g.\frac{G}{L})^{1/3}$". On peut constater une dispersion importante des points expérimentaux qui ne satisfait pas complètement l'utilisation de l'équation (5).

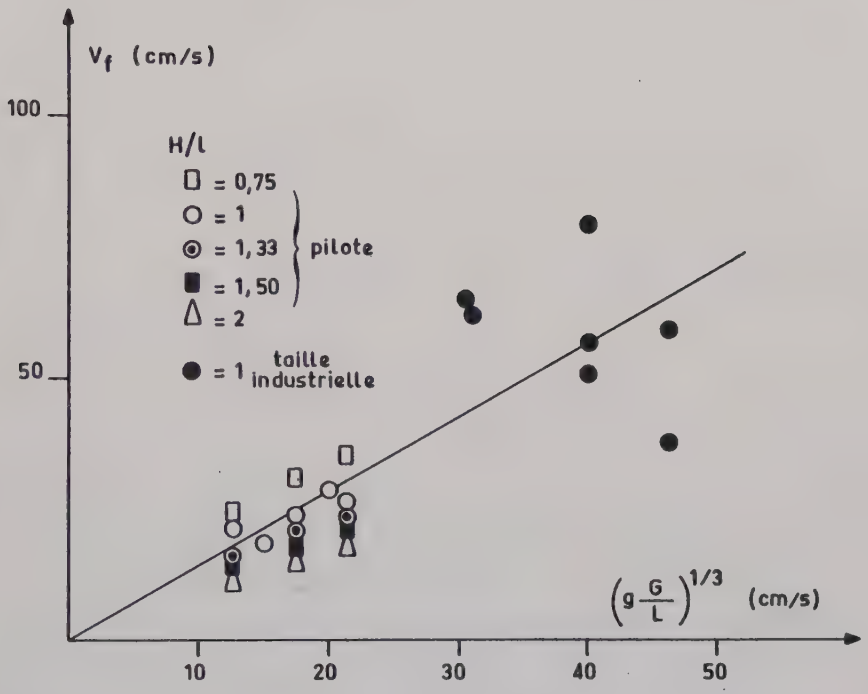


FIGURE 7 : Représentation du modèle de HARREMOES

BULSON (4) a réalisé les expériences dans un chantier de construction maritime ayant une largeur de 31 m pour déterminer la vitesse de surface "V_s" produite en fournissant un débit d'air.

Il a employé une profondeur de 10,36 m au maximum et les rapports géométriques H/l de 0.083, 0.17, 0.25 et 0.33.

Comme diffuseur, il a utilisé les tuyaux percés. L'équation qu'il propose est :

$$V_s \simeq (g.\frac{G}{L})^{1/3} . \left[1 + \frac{H^*}{Ho}\right]^{1/3} \qquad (6)$$

où G/L : débit d'air par unité de la longueur du bassin (m^2/s)

Ho : pression atmosphérique en mètres de colonne d'eau

V_s : vitesse de surface (m/s)

H^* : l'immersion du système d'aération en "m".

En conclusion de ces études citées (équations 4,5,6) la vitesse caractéristique de l'écoulement (moyenne, fond ou surface) est une fonction du débit gazeux par unité de longueur de système de dispersion G/L, pour une configuration géométrique donnée.

II.1.2. Autre approche.

Nous avons utilisé une approche qui tient compte de l'énergie dissipée par des bulles d'air et les pertes dues à la circulation du liquide dans les bassins.

Hypothèse :

L'énergie libérée par la détente des bulles d'air sous une charge statique d'eau H et la rétention gazeuse due à l'ascension des bulles créent un niveau liquide supérieur du côté du diffuseur. Ceci revient à avoir créé une charge Δh sous laquelle s'écoulerait un débit liquide "Q_c" (Fig. 8).

La puissance fournie par le passage d'air à travers un diffuseur est directement proportionnelle au débit d'air en supposant une détente isotherme.

$$P = G.\ \rho\ .\ g.\ H \qquad (7)$$

ρ = masse volumique de l'eau

H = hauteur d'eau

G = débit d'air

Comme nous avons expliqué que l'introduction d'un certain débit d'air par les diffuseurs crée une charge Δh cette charge va contribuer à créer un débit liquide Q_c s'écoulant à une vitesse moyenne $\bar{V}$. On peut exprimer Δh (m c e) par :

$$\Delta h = f.\ \frac{\bar{V}^2}{D_H\ g}\ .\ Leq \qquad (8)$$

$$Leq = l + 2H$$

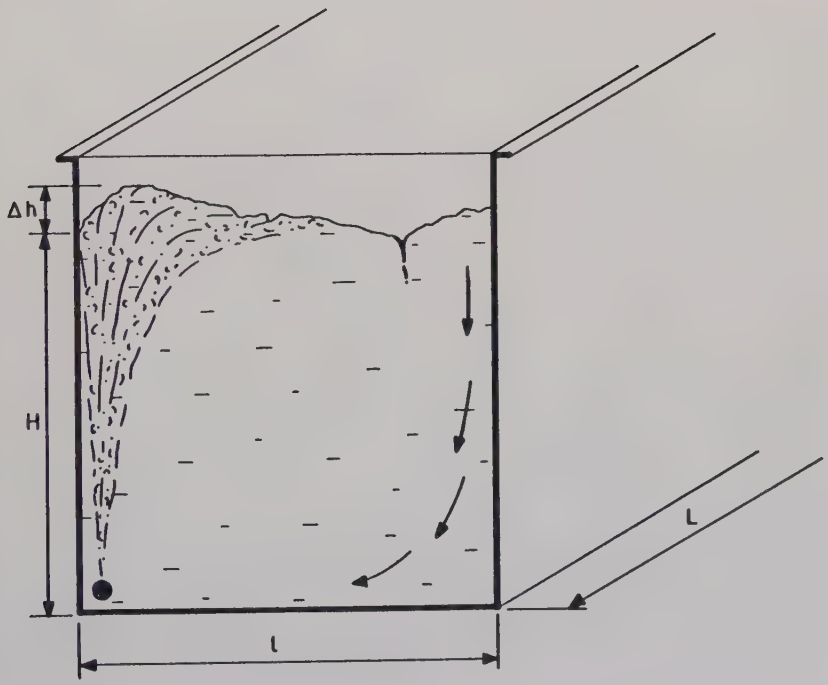


FIGURE 8 : Circulation dans un bassin.

En supposant une paroi lisse, l'équation de BLASIUS donne la valeur de "f"

$$f = 0.16\ (R_e)^{-1/4} \quad .... \quad 2 \cdot 10^3 < R_e < 10^5 ... \qquad (9)$$

ou bien $f \div (R_e)^{-0.25}$

En substituant R_e

$$f \div (\bar{V} \cdot D_H)^{-.25}$$

D_H : diamètre hydraulique

$D_H = 4\ R_H = 4\ \frac{1.\ H}{1+\ 2H}$

L'équation (8) devient :

$$\Delta h \div (\bar{V})^{-0.25} \quad (\frac{1\ H}{1+2H})^{-0.25} \cdot \frac{\bar{V}^2}{(\frac{1\ H}{1+\ 2H})} \cdot (1 + 2H) \qquad (10)$$

La puissance de la circulation se définit par :

$$P_c = Q_c \cdot \rho \cdot g. \Delta h \qquad (11)$$

où Q_c : débit de circulation = $\bar{V}\ \frac{H}{2}\ L$

$\bar{V}$: la vitesse moyenne de circulation

$$\text{Donc } P_c = (\bar{V} \cdot \frac{H}{2} \cdot L) \cdot \rho \cdot g. \Delta h \qquad (12)$$

En substituant Δh (équation 10) dans cette équation (12) on obtient :

$$P_c \simeq (\bar{V} \cdot \frac{H}{2} \cdot L) \cdot \rho \cdot g \cdot (\bar{V} \cdot \frac{1H}{1+2H})^{-0.25} \cdot \frac{\bar{V}^2}{(1+2H)} \cdot (1 + 2H) \quad (13)$$

Comparant P (équation 7) et P_c (équation 13) nous arrivons à l'équation ci-dessous :

$$\bar{V} \doteq (\frac{G}{L})^{0.363} \cdot \frac{(1H)^{0.45}}{(1+2H)^{0.82}} \quad (14)$$

L'équation (14) contient le même facteur $\frac{G}{L}$ que l'on trouve dans l'approche d'ABRAHAM (1) et HAREMOES (3) mais avec un exposant différent qui est dû à l'introduction de pertes de charge par frottement au long des parois, soit 0.36 au lieu de 0.33.

II.2. RESULTATS EXPERIMENTAUX.-

II.2.1. Vitesse en fond du bassin : "V_f"

Nos expériences ont été faites dans les différents bassins décrits dans le chapitre l . Ces vitesses ont été mesurées à 25 mm au-dessus du fond dans tous les bassins rectangulaires.

Dans le bassin B_4 à 30 mm

Dans le bassin B_5 à 50 mm

Les valeurs de V_f obtenues pour plusieurs essais sont indiquées dans l'annexe "A".

Les variables opératoires choisies ont été les suivantes :

- le débit d'air
- rapport géométrique H/l
- système de dispersion.

En étudiant l'influence du débit gazeux sur la vitesse en fond, on obtient la relation suivante pour tous les bassins rectangulaires

$$V_f \doteq \left(\frac{G}{L}\right)^{0.45} \qquad (15)$$

Cette relation reste valable quelque soit la taille et le rapport géométrique H/l du bassin rectangulaire. Mais

on remarque que la valeur de l'exposant ainsi obtenue est différente de celle de l'analyse théorique qui est de l'ordre de 0.33 à 0.36.

Pour vérifier ce fait des mesures de vitesse en fond V_f ont été réalisées dans le bassin cylindrique B_4.

Nous avons donc mesuré ces vitesses V_f en changeant la position du diffuseur (fig. 4, chap. 1).

La relation proposée est :

$$V_f \doteq \left(\frac{G}{L}\right)^{0.36} \qquad (16)$$

Les vitesses V_f trouvées dans les bassins B_3 et B_4 sont reportées en fonction du facteur $(\frac{G}{L})^{0.45}$ et $(G/L)^{0.36}$ respectivement sur les figures 9, 10 et 11.

On constate que l'exposant du facteur G/L dans le cas de bassin cylindrique B_4 a la même valeur que celui trouvé dans l'analyse théorique.

En travaillant avec le bassin cylindrique, on voit donc que l'écoulement de l'eau est plus régulier et qu'il n'y a pas de changement brutal de direction d'écoulement comme c'est le cas pour une section carrée.

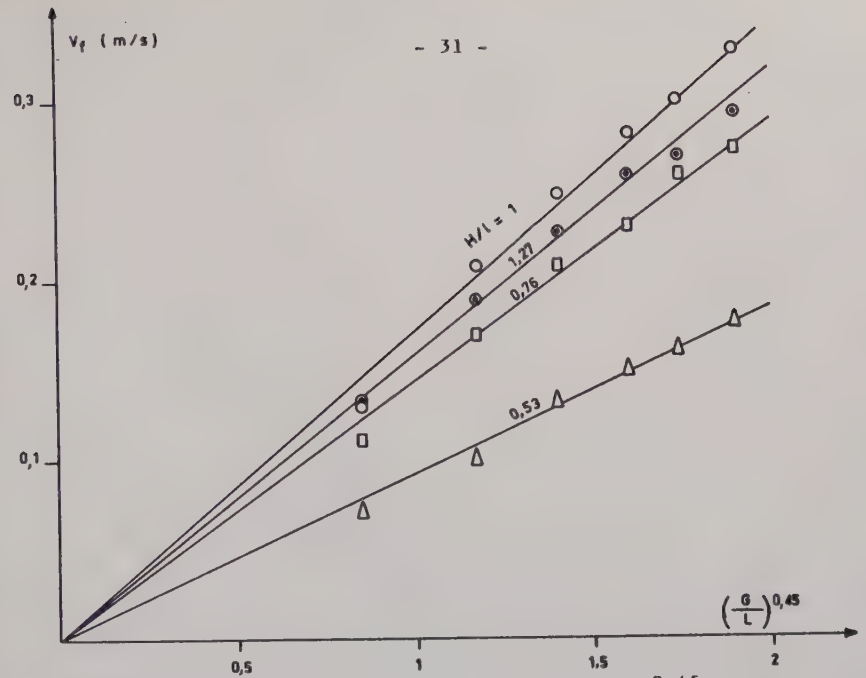


FIGURE 9 : Présentation de vitesses V_f VS $(G/L)^{0.45}$, tubes percés, Bassin B_3.

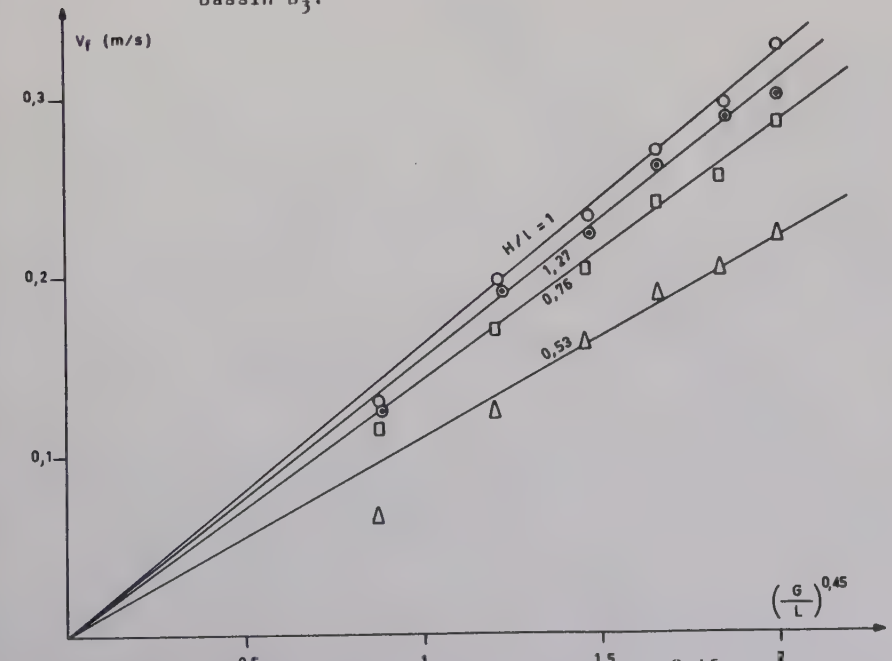


FIGURE 10 : Présentation de vitesses V_f VS $(G/L)^{0.45}$, tube poreux, bassin B_3.

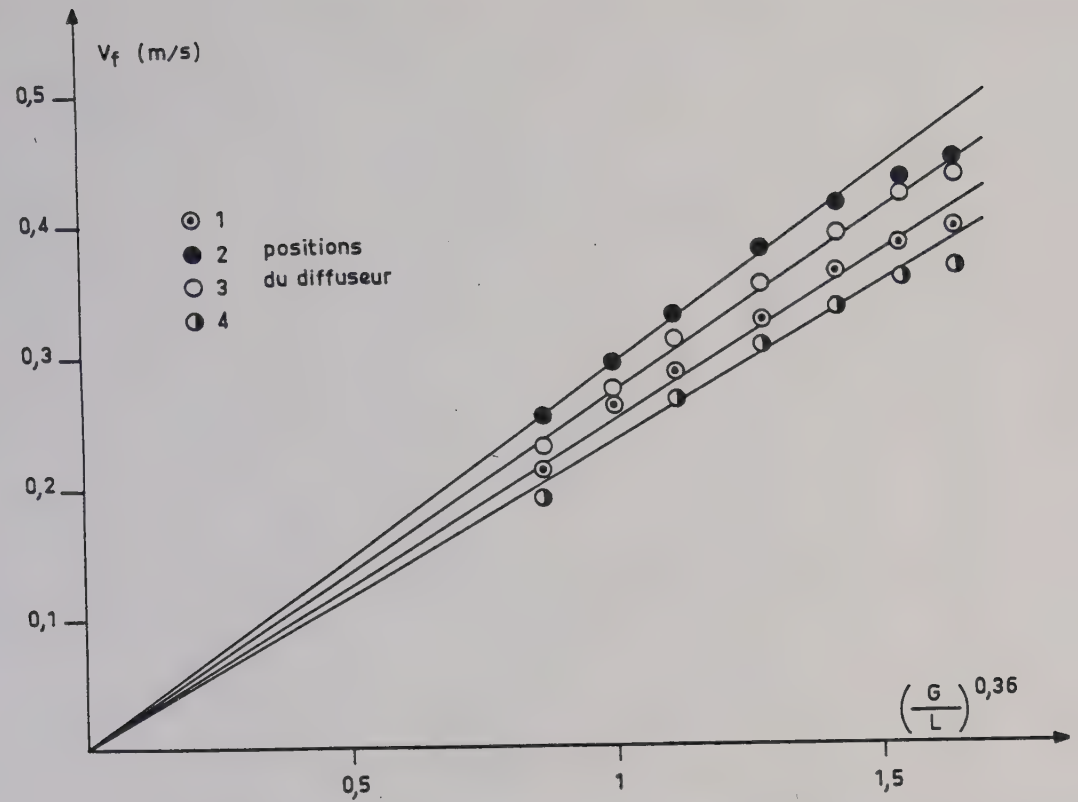


FIGURE 11 : Présentation de vitesses V_f vs $(G/L)^{0.36}$, B_4, tube percé

Une étude similaire faite en collaboration avec l'Université de Sherbrooke avec un bassin de section octangulaire de géométrie intermédiaire entre B_3 et B_4 justifie cet argument.

Les corrélations pour les bassins de différentes géométries sont :

- bassin rectangulaire $V_f \doteq (G/L)^{0.45}$
- bassin octangulaire $V_f \doteq (G/L)^{0.40}$
- bassin cylindrique $V_f \doteq (G/L)^{0.36}$

Cette différence de valeur des exposants de G/L est due au dérangement de la circulation et à la formation des petits tourbillons ou Vortex qui se trouvent à la surface au voisinage dela paroi opposée du système de dispersion, comme nous l'avons montré sur la figure 12.

Ce phénomène a été observé durant nos expériences avec le bassin B_3. Les bulles d'air entraînées par l'écoulement remontent à la surface en diminuant la circulation. Les petits tourbillons formés au niveau de la surface et près de la paroi sont aussi susceptibles d'entraîner des bulles d'air. Ces effets sont marqués surtout en travaillant avec un fort débit d'air (voir Fig.12).

On constate une diminution de l'importance de ce phénomène lorsque l'on passe d'une géométrie carrée à une géométrie circulaire.

FIGURE 12 : Dérangement de la circulation par les tourbillons.

L'ensemble des données (Annexe A) montre qu'à même valeur de G/L les vitesses au fond évoluent dans la série suivante :

V_f > V_f > V_f

bassin cylindrique bassin octangulaire bassin rectangulaire

CONCLUSION PRATIQUE :

> Du point de vue de cette étude sur les différentes géométries des bassins, il est évident que le bassin cylindrique favorise mieux la circulation que les autres.

II.2.2. Influence du type de diffuseur.

Pour mieux comparer les diffuseurs à fines et moyennes bulles, nous avons utilisé respectivement les tubes poreux et tubes percés.

Les mesures de vitesse V_f à faible hauteur d'eau (pour les bassins B_1, B_2 et B_3 H < 575 mm) montrent que les V_f obtenues en employant les tubes poreux sont un peu plus fortes que V_f obtenues avec les tubes percés (tableaux A.1, A.2, Annexe "A").

Par contre, $V_f \neq V_f$ à hauteur d'eau importante
poreux percés

Comme c'est le cas du bassin B_3 ($H \geq 575$ mm). Tableaux A.1 et A.2 Annexe "A".

Ceci peut être expliqué de la façon suivante. En employant les tubes percés on observe un jet gazeux à la sortie de trous qui ne se fractionne qu'après une distance d'environ 3 à 5 cm. Cette hauteur du jet n'est pas négligeable par rapport à la hauteur d'eau, comme c'est le cas du bassin B_1 à H = 220 mm.

Par contre, avec les bassins B_2 et B_3 cette hauteur du jet gazeux devient petite par rapport à la hauteur d'eau.

Le jet gazeux est pratiquement inexistant quand on utilise le tube "Aerox". Il est donc normal que l'on retrouve des valeurs similaires de V_f lorsque la hauteur d'eau H est importante (bassin B_3 $H \geq 575$ mm).

II.2.3. Influence des facteurs géométriques.

Nous avons étudié l'influence des facteurs géométriques sur la vitesse en fond V_f dans les bassins. Les facteurs étudiés sont les suivants :

- la hauteur d'eau (rapport H/l)
- la position du diffuseur.

II.2.3.A. Influence de la hauteur d'eau.

La vitesse au fond V_f a été mesurée dans les bassins

B_1, B_2 et B_3 en faisant varier le rapport H/l entre 0.53 et 1.27.

Les valeurs de V_f obtenues indiquent que V_f est maximale pour H/l = 1, c'est-à-dire que les vitesses V_f sont les plus élevées dans le cas d'une section carrée (H = l).

Pour des rapports H/l > 1 ou bien H/l < 1, la valeur de V_f sera toujours inférieure à celle obtenue à H/l = 1.

Les vitesses V_f obtenues sont données en fonction du débit d'air G pour plusieurs rapports H/l (voir fig. 9 et 10).

CONCLUSION :

Afin d'avoir une vitesse en fond V_f maximale le rapport H/l devra être le plus proche de 1.

II.2.3.B. Position du diffuseur dans les bassins rectangulaires.

L'influence de placement du diffuseur sur V_f a été étudiée dans le bassin B_3. D'abord en déplaçant le diffuseur verticalement et ensuite en le déplaçant horizontalement au fond du bassin. Nous avons fait ces essais pour le rapport "H/l = 1".

Déplacement vertical du diffuseur.

La figure 13 montre que la vitesse en fond V_f diminue rapidement avec la décroissance de l'immersion du diffuseur.

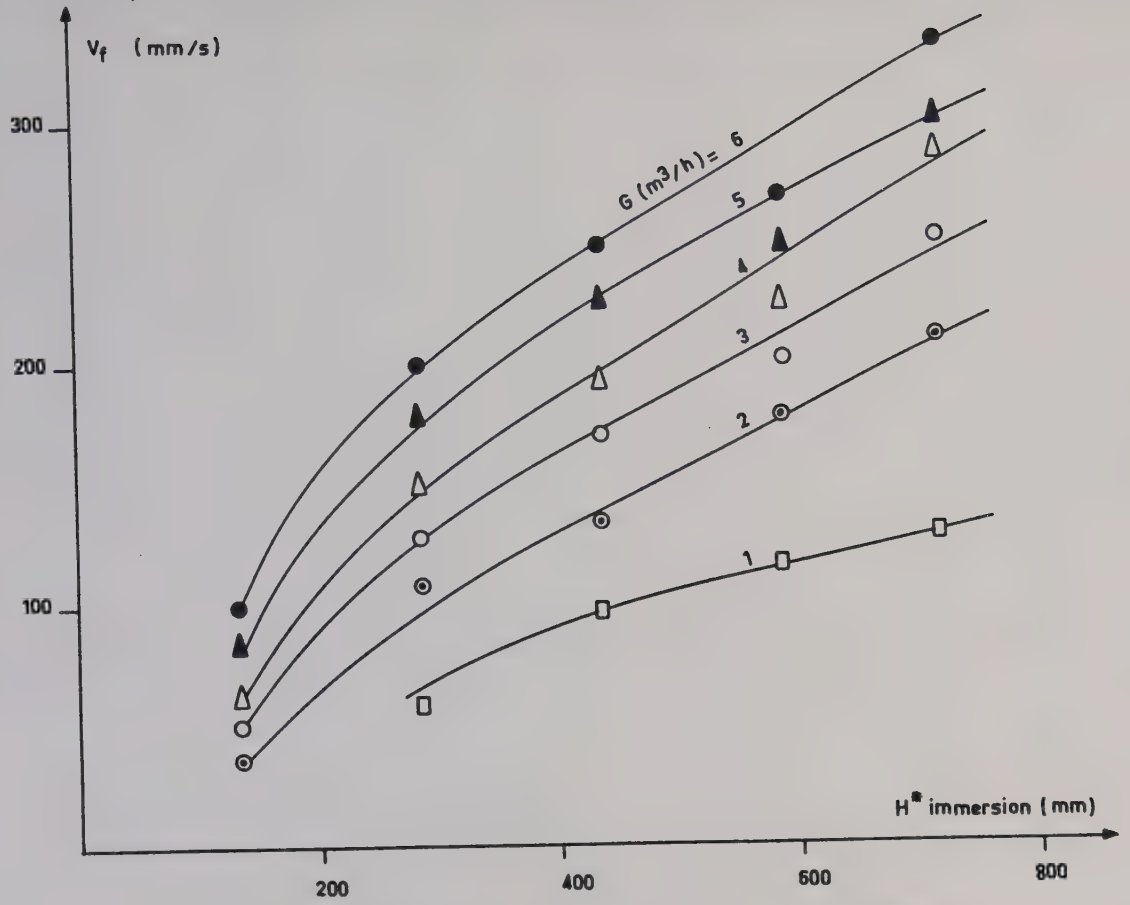


FIGURE 13 : Variations de vitesse V_f en fonction de l'immersion H*, bassin B_3.

En montant le diffuseur verticalement vers la surface d'eau, on crée une décroissance de la rétention gazeuse d'air, une diminution du Δh. Une décroissance de Δh conduit à la baisse du débit de circulation et donc de V_f (voir équation 10).

> Donc pour obtenir une vitesse V_f maximale le diffuseur devrait être placé à la position la plus profonde possible (H^* maximum).

Ce résultat a également été observé sur le bassin B_7.

Déplacement horizontal du diffuseur.

En déplaçant le diffuseur horizontalement nous constatons que la vitesse V_f diminue. Le déplacement du diffuseur vers le milieu du bassin crée un Δh plus faible que dans le cas où il a été mis près de la paroi. Ceci peut être expliqué par le fait que Δh est réparti dans les deux directions et il y a une tendance de provoquer une circulation contrecourante. La distance entre la paroi et le diffuseur qui conduit à n'avoir peu d'effet sur la vitesse V_f, est 20 $\sim$ 25 % de la largeur du bassin.

Les différentes valeurs de V_f obtenues pendant ces essais sont données dans l'Annexe A Tab. A.4. On remarque qu'il y a une diminution importante dans les valeurs de V_f à faible débit d'air introduit (G = 2.5 m^3/h).

Les V_f sont moins sensibles à $G \geqslant 4.0$ m^3/h, car à fort débit d'air, la circulation globale est assez importante pour vaincre les effets négatifs créés par un déplacement horizontal du diffuseur. Cette circulation est capable d'entraîner en circulation la partie du fluide qui se trouve derrière le rideau des bulles d'air ascendantes.

Des observations identiques ont été faites sur les bassins B_7 et B_8.

II.2.3.C. Position du diffuseur dansle bassin cylindrique.

Les effets produits par les déplacements verticaux et horizontaux dans les bassins rectangulaires sont aussi constatés en faisant des essais avec le bassin cylindrique B_4. Nous avons effectué des mesures de vitesse V_f à 30 mm au-dessus du fond en plaçant le diffuseur (tubes percés) aux positions 1, 2, 3 et 4. (voir Fig. 14), ce qui nous donne les immersions du diffuseur à partir du niveau liquide égales à 588, 540, 480 et 460 mm respectivement.

Les valeurs de V_f obtenues se trouvent aux Annexes A Tab. A.3. On remarque que les vitesses V_f correspondant aux positions 2 et 3 du diffuseur, sont plus fortes que celles obtenues aux positions 1 et 4.

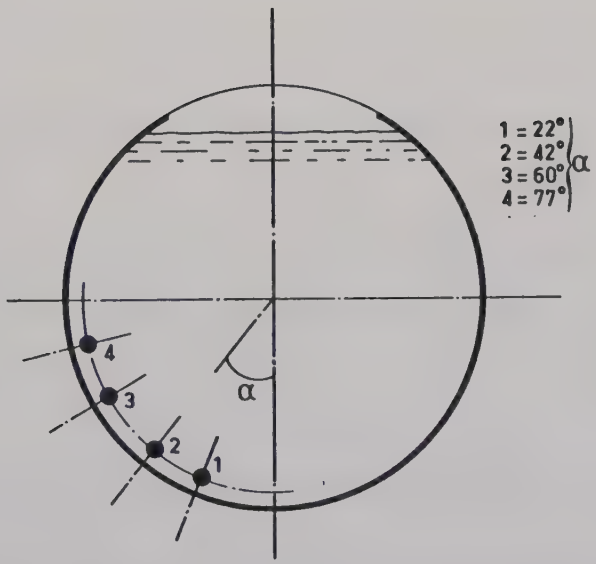


FIGURE 14 : Différentes positions du diffuseur, B_4

Les vitesses maximales sont obtenues à la position 2 (immersion H^* = 540 mm). La raison est que cette position satisfait les critères décrits pour les bassins rectangulaires. En effet, la position 2 peut être assimilée à la position située dans l'angle inférieur d'un bassin carré qui serait inscrit dans le bassin cylindrique.

Par contre, la position 1 satisfait mieux le critère d'immersion du diffuseur mais se trouve vers le centre. Inversement, la position 4 satisfait le critère du placement horizontal mais se trouve à une position verticalement défavorable.

En conclusion, afin d'avoir une vitesse maximale Vf dans un bassin cylindrique, le diffuseur doit être placé tel que l'angle défini sur la fig. 14 est de l'ordre de 45°.

II.2.4. Influence de la taille de l'installation.

Pour étudier les influences de la taille de l'installation sur la vitesse V_f, nous avons rassemblé tous nos résultats qui nous ont permis d'établir la corrélation suivante pour les bassins rectangulaires (Tableau 3)

$$V_f = p\ (G/L)^{0.45}$$

	Tubes percés		Tubes Aérox	
	H/1	P	H/1	P
Bassin 1	0.74	0.108	0.74	0.132
	1.0	0.13	1.0	0.158
	1.3	0.13	1.3	0.144
Bassin 2	0.55	0.1	0.55	0.122
	0.66	0.118	0.66	0.138
	0.76	0.15	0.76	0.16
Bassin 3	0.53	0.093	0.53	0.11
	0.76	0.144	0.76	0.14
	0.88	0.15	0.88	0.146
	1.0	0.168	1.0	0.162
	1.27	0.16	1.27	0.152

TABLEAU 3 : Valeurs de p équation $V_f = p\,(G/L)^{0.45}$.

Nous constatons que dans un bassin rectangulaire ayant le même système d'aération et le même rapport géométrique "H/l", le coefficient p est presque le même quelle que soit la taille du bassin.

Nous avons également constaté que le coefficient p varie de 0.1 à 0.16 pour les rapports H/l variant dans l'intervalle $0.5 < H/l < 1.27$.

En employant les tubes poreux (Aérox), comme diffuseur dans les bassins B_1 et B_3, on trouve la même valeur de coefficient $p = 0.16$ à $H/l = 1$, ce qui tendrait à démontrer que p est indépendant de la taille de l'installation.

Nous proposons donc pour des diffuseurs à tubes percés de trous :

Pour le bassin carré B_3 à $H/l = 1$

$$V_f = 0.16\ (G/L)^{0.45}$$

Pour le bassin octangulaire B_5

$$V_f = 0.24\ (\frac{G}{L})^{0.4}$$

Pour le bassin cylindrique B_4 avec la rampe à la position 2

$$V_f = 0.3\ (\frac{G}{L})^{0.36}$$

CONCLUSION PRATIQUE :

Pour obtenir la même vitesse en fond V_f, le critère d'extrapolation sera $\frac{G}{L}$ = Cte pour des systèmes géométriquement semblables.

II.2.5. Profil de vitesse.

Nous avons mesuré les vitesses horizontales sur l'axe central de la section verticale du bassin. Ces mesures permettent de vérifier l'existence d'un oeil de circulation du liquide situé à peu près au centre de la section transversale de la cuve.

Les vecteurs vitesses sont pratiquement horizontaux en surface et au fond du bassin.

Nous avons déterminé les profils de vitesses horizontales pour diverses valeurs du débit gazeux dans les bassins B_3 et B_4 en gardant le diffuseur tout près d'une paroi et tout le long du bassin (Fig. 15, fig. 16).

On vérifie que l'allure du profil est la même pour un rapport géométrique "H/l" quelque soit le débit gazeux.

Le point h_0 interpolé à partir du profil pour lequel il y a le changement de direction des vitesses, se situe à environ cinquante pour cent de la hauteur du liquide.

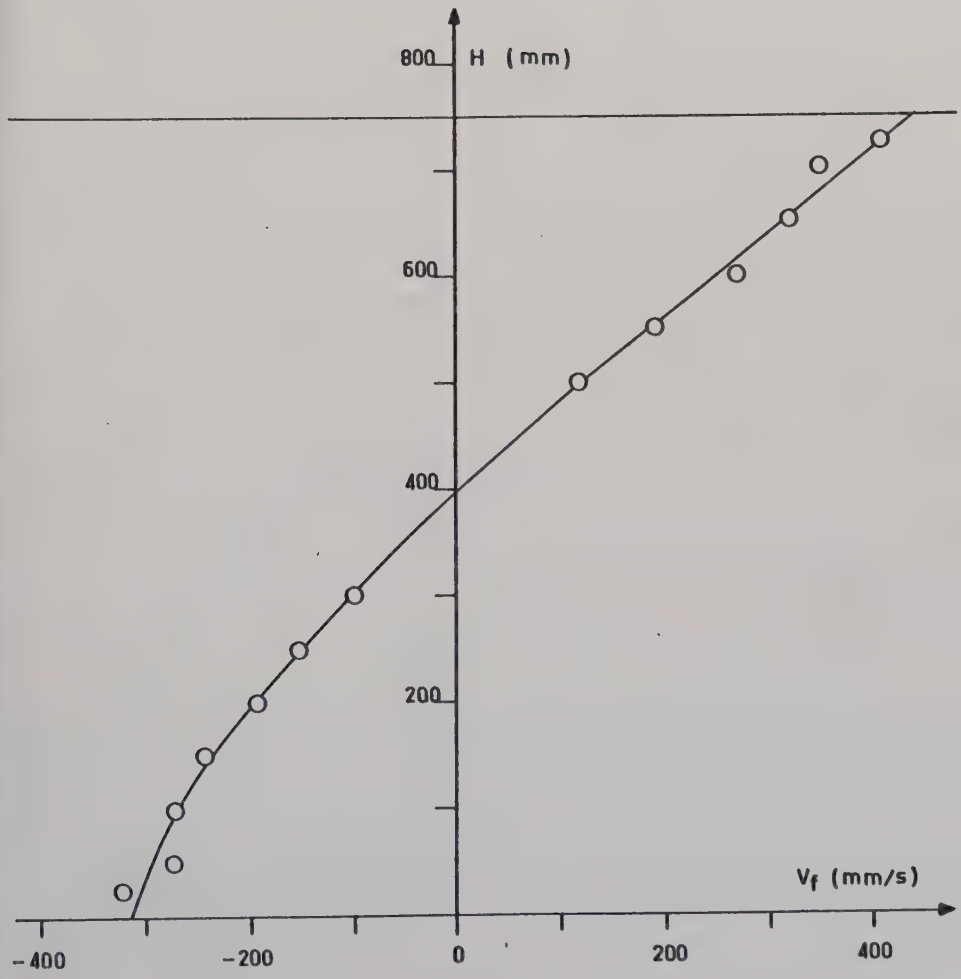


FIGURE 15 : Profil de vitesses horizontales Bassin B_3.

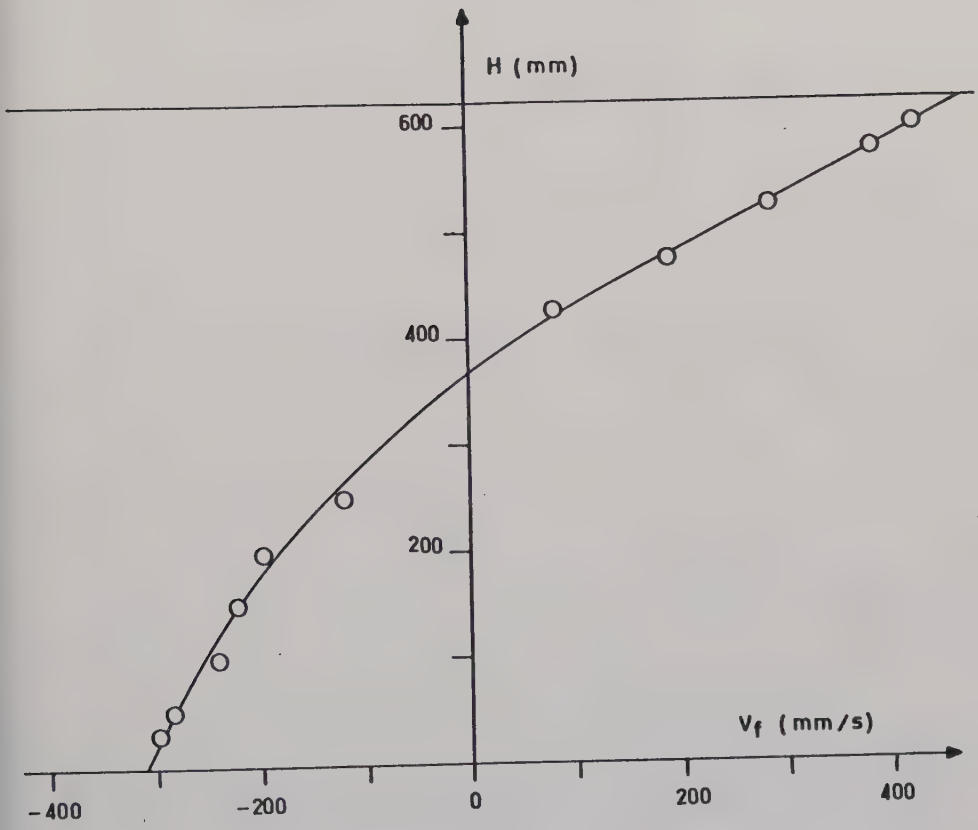


FIGURE 16 : Profil de vitesses horizontales bassin B_4.

Vitesse moyenne de circulation $\bar{V}$

A partir du profil, deux grandeurs ont été calculées : la vitesse moyenne $\bar{V}$ et le débit de circulation Qc.

Les calculs de $\bar{V}$ et Qc ont été faits par l'intégration de la courbe V = V(h)

$$\bar{V} = \frac{1}{2} \quad \frac{1}{h_o}\left[\int_o^{h_o} |V|\, dh + \frac{1}{H - h_o} \int_{h_o}^{H} |V|\, dh\right]$$

$$Qc = \bar{V} \cdot L \cdot H/2$$

h_o : la hauteur du point de la vitesse nulle

H : la hauteur du liquide.

Dans tous nos calculs, les intégrales $\int_o^{h_o} |V|\, dh$ et $\int_{h_o}^{H} |V|\, dh$ ont été pratiquement identiques, ceci indiquent une symétrie de l'écoulement par rapport à l'axe horizontal. Cette méthode de mesure de $\bar{V}$ à partir du profil de vitesse demande beaucoup de temps, parce que pour obtenir un profil de vitesse, il est nécessaire d'avoir environ 15 ou 20 mesures de vitesse locale.

Pour avoir une détermination plus rapide de $\bar{V}$, nous avons utilisé une méthode basée sur l'utilisation d'un traceur (électrolyte). Le traceur choisi a été l'acide sulfurique. Une injection instantanée d'environ 30 ml d'acide, près de la paroi permet d'enregistrer en continu la conductivité du liquide à l'aide d'une sonde conductrimétrique. La position exacte de sonde est illustrée sur la figure 17 pour le bassin B_3.

Cette méthode a été utilisée dansles mêmes conditions que les mesures de vitesse effectuées par le micro-moulinet "OTT C2". Cela nous a permis de comparer les $\bar{V}$ ou Qc obtenus par les deux méthodes. L'évolution de la concentration du traceur en fonction du temps sont des sinusoïdes amorties présentant une série de pics et vallées (Fig. 18).

Le dépouillement des courbes nous a permis de déterminer un temps de circulation moyen τc qui correspond à la distance entre deux pics ou deux vallées.

τc peut être exprimé par l'équation :

$$\tau c = \frac{V}{Qc} = \frac{H.\ L.l}{Qc}$$

Qc : débit de circulation m^3/s

où $Qc = \bar{V} \cdot H_{/2}.L$

soit $\bar{V} = \frac{Qc}{H/2.L}$

et donc

$$\bar{V} = \frac{2\ l}{\tau c}$$

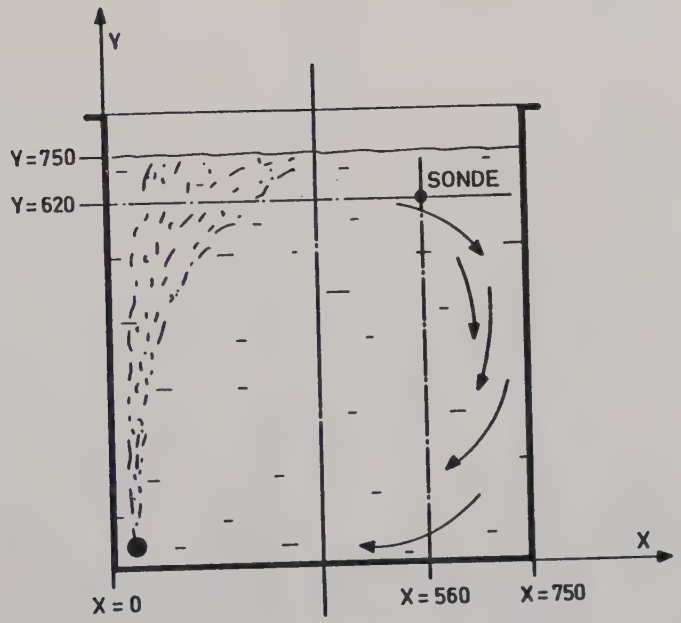


FIGURE 17 : Position de sonde conductrimétrique, B_3

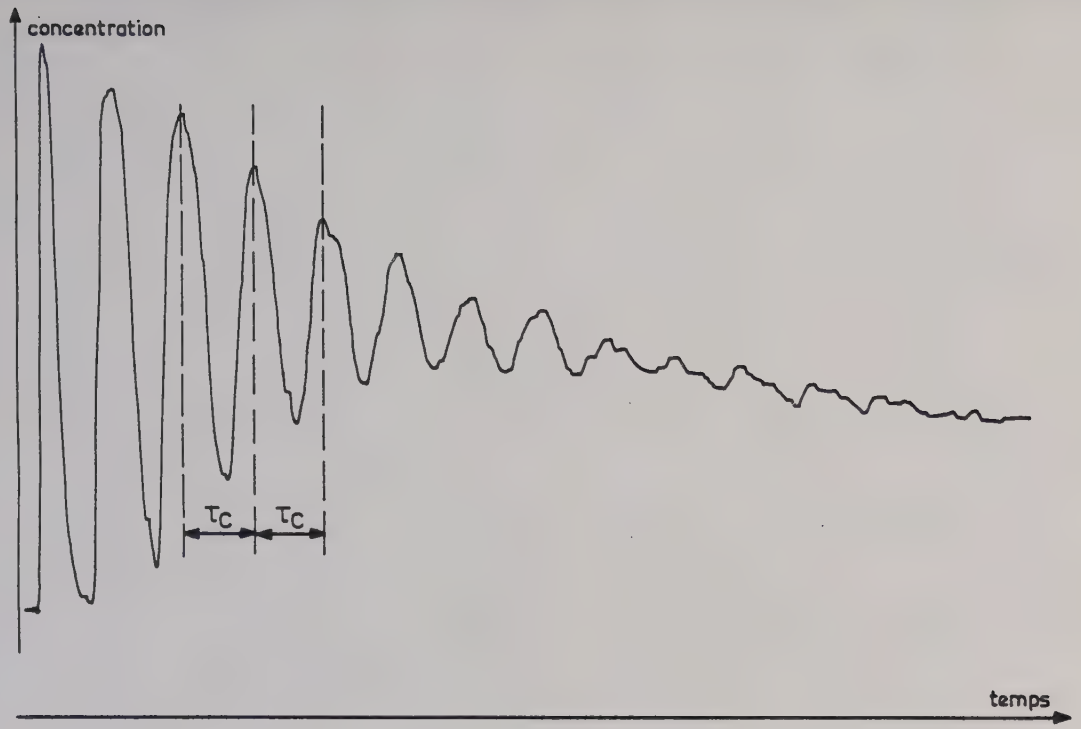


FIGURE 18 : Détermination du temps de circulation dans un bassin.

		BASSIN B_3					
	G m^3/h	1	2	3	4	5	6
H = 575 mm	$\overline{V}p$	-	-	114	121	138	150
	$\overline{V}t$	85	106	125	133	144	153
H = 660 mm	$\overline{V}p$	-	-	140	145	154	167
	$\overline{V}t$	90	110	125	135	145	158
H = 750 mm	$\overline{V}p$	-	-	163	186	202	220
	$\overline{V}t$	91	119	151	175	185	214
H = 950 mm	$\overline{V}p$	-	-	141	151	161	172
	$\overline{V}t$	87	121	140	147	163	171

		BASSIN B_4					
pos. 1	$\overline{V}p$	123	187	212	207	-	-
	$\overline{V}t$	120	191,5	206	196	-	-
pos. 2	$\overline{V}p$	120,5	179	198	196	-	-
	$\overline{V}t$	131	170	200	194	-	-
pos. 3	$\overline{V}p$	100	135	155	171	-	-
	$\overline{V}t$	100	136	161	179	-	-
pos..4	$\overline{V}p$	72	108	123	134	-	-
	$\overline{V}t$	81	129	147	151	-	-

TABLEAU 4 : Comparaison de $\overline{V}p$ et $\overline{V}t$ dans les bassins (en mm/s).

En traçant $\bar{V}$ vs G/L on trouve le même exposant de G/L que pour V_f.

II.3. CONCLUSION.-

Dans ce chapitre, nous avons abordé l'aspect de la circulation dans les bassins d'aération.

Pour étudier la circulation à l'intérieur des bassins, nous avons obtenu des profils de vitesse qui nous ont permis de conclure que la circulation possède un axe de symétrie situé la plupart du temps au milieu de la section droite du bassin (du moins pour des rapports H/l voisins de 1).

Par cette étude, nous avons pu constater que le type de diffuseur a très peu d'influence sur les vitesses en fond du bassin et sur le débit de circulation (du moins pour des bassins de hauteur $H > 0,5$ m).

L'écart entre les deux méthodes de détermination de $\bar{V}$ est très minime et il justifie l'utilisation de la méthode du traceur, comme un moyen d'acquérir une information rapide sur la circulation. En comparant la vitesse en fond V_f et $\bar{V}$ on trouve :

$$\bar{V} = 0.5 \text{ à } 0.6\ V_f.$$

Nous avons développé certaines corrélations entre la vitesse en fond du bassin et le débit gazeux introduit dans un bassin donné.

La grandeur caractéristique qui fixe la vitesse dans un bassin est le débit d'air par unité de longueur du bassin G/L.

Selon nos observations afin d'avoir une vitesse en fond maximale qui favorise la mise en suspension des solides pour un débit gazeux :

a) il est recommandé que la hauteur d'eau soit du même ordre que la largeur du bassin $H/l \simeq 1$.

b) le système de dispersion doit se situer au fond du bassin à la position la plus profonde possible et à une distance de la paroi qui est < 25 % de la largeur du bassin

c) pour un bassin de section circulaire, le diffuseur doit être placé tel que l'angle inférieur soit de l'ordre de 45° à l'axe vertical (voir fig. 14).

C H A P I T R E III

-oOo-

MISE ET MAINTIEN EN SUSPENSION DES SOLIDES

-oOo-

III.1. Introduction

III.2. Expérimentation avec les particules sphériques

III.3. Résultats expérimentaux

III.4. Expérimentation avec la chicorée et les boues

III.5. Conclusion.

III.1. INTRODUCTION.-

Les systèmes d'aération ont un double but :

- apporter aux microorganismes des boues activées l'oxygène dont ils ont besoin
- provoquer un brassage et une homogénéité suffisantes de façon à assurer un contact intime entre le milieu vivant, les éléments polluants et l'oxygène.

Dans les bassins d'aération la circulation du liquide doit permettre des vitesses de balayage suffisantes pour éviter les dépôts et assurer une bonne homogénéisation. Toute particule dont la masse volumique est supérieure à celle du liquide ne peut être mise en suspension que si elle est soumise à des forces hydrodynamiques verticales ascendantes qui viennent au moins équilibrer son poids apparent. Une fois qu'elle a été mise en suspension, la particule est entraînée par le liquide dans sa circulation.

Le dépôt en fond des particules solides se produit lorsque la vitesse du fluide en fond est inférieure à la vitesse nécessaire pour la mise en suspension de ces particules.

Pour éviter cette accumulation, il est donc nécessaire d'avoir une valeur de "V_f" minimale au-delà de laquelle les particules sont animées de mouvements continus. Si V_c désigne

la vitesse de chute de la particule solide en question, la mise en suspension de la particule s'effectue seulement quand la vitesse d'écoulement de fluide V_f est supérieure à V_c.

Cette contrainte peut donc se traduire par une valeur minimale du rapport V_f/V_c.

FAIR (5) a proposé l'utilisation de la corrélation suivante :

$$V_f/V_c = (\frac{8}{\lambda})^{\frac{1}{2}} \qquad (17)$$

où λ= facteur de frottement compris entre 0.1 et 1, V_f/V_c est alors compris entre 3 et 9. En général, ce rapport est maintenu inférieur à 10.

PALLASCH (6) indique que la vitesse en fond pour la mise en suspension dans les bassins d'aération doit être dans l'ordre de 0.3 m/s.

Dans le cas d'un bassin aéré de géométrie rectangulaire ou circulaire muni de diffuseurs à tubes percés, nous avons déterminé les conditions pour lesquelles les particules sont maintenues en suspension. Dans un premier temps, nous avons fait l'étude avec des particules sphériques individuelles. Dans un deuxième temps, nous nous sommes placés dans les conditions réelles de fonctionnement d'un bassin (chicorée bouillie et boues activées).

III.2. EXPERIMENTATION AVEC LES PARTICULES SPHERIQUES.-

III.2.1. Choix des particules.

Nous avons choisi des particules de préférence sphériques dont la masse volumique est proche de celle de l'eau. Ceci afin d'avoir une vitesse des particules proche de la vitesse de décantation des boues.

Nous avons finalement choisi des billes en matière plastique de diamètre 5 ou 6 mm environ (masse volumique 1.13-1.44 g/cm^3) et dont la vitesse de chute est comprise entre 2 et 8 cm par seconde.

III.2.2. Mesure des vitesses de chute.

Nous disposons pour cela d'une colonne remplie d'eau de 2 m. On mesure le temps que met la particule pour parcourir une distance d'un mètre après une chute libre d'environ 1 mètre qui lui permet d'atteindre une vitesse limite de chute.

III.2.3. Définitions.

Nous avons observé le comportement des billes dans le bassin en affichant un débit d'air quelconque. En faisant varier celui-ci nous constatons qu'il existe :

- un débit d'air minimum pour mettre la bille en suspension
- un débit d'air maximum qui maintient la bille en circulation.

Les observations nous ont conduit à choisir comme paramètre le temps total T_{tf} passé au fond pendant un temps d'expérience fixé préalablement.

a) Temps total d'expérience.

Nous avons choisi un temps total d'expérience de 10 minutes qui semblait être une période suffisamment longue pour que le comportement de la bille soit significatif et reproductible.

b) Temps total passé au fond (T_{tf})

Il s'agit du temps pendant lequel la bille n'est pas en circulation. L'expérience a montré qu'il s'agissait essentiellement du temps passé dans la zone d'arrêt située au niveau de la rampe d'arrivée d'air. Le temps total passé au fond varie en fonction du débit d'air introduit. Pour chaque bille nous avons tracé la courbe T_{tf} V_s G. Ce qui nous a conduit à définir un débit minimum et un débit maximum.

c) Débit d'air minimum G mini

C'est le débit d'air à partir duquel la bille est mise en suspension. C'est-à-dire que la bille décolle au moins une fois. Le temps passé en circulation représente 5 % du temps total d'expérience.

Sur la courbe T_{tf} V_s G, G mini correspond à la valeur pour T_{tf} = 570 Sec.

d) Débit d'air maximum G max

C'est le débit pour lequel la bille est mise en suspension complète et ne reste que quelques secondes sur le fonds du bassin. Le temps passé en circulation représente 90 % du temps total d'expérimentation.

Soit à G max T_{tf} = 60 Sec.

III.3. RESULTATS EXPERIMENTAUX.-

Les figures 19 et 20 représentent les variations de T_{tf} V_s G pour les particules utilisées. La détermination de G mini et G max est relativement aisée en fonction des critères définis précédemment.

L'ensemble des résultats est présenté dans le tableau (5).

Pour les bassins rectangulaires, les rapports V_f/V_c à G max pour la majorité de particules sont compris entre 5 et 6, alors que pour le bassin cylindrique B_4 le rapport V_f/V_c à G max n'est que de "2" c'est-à-dire que le bassin cylindrique favorise très nettement le maintien en suspension des particules solides.

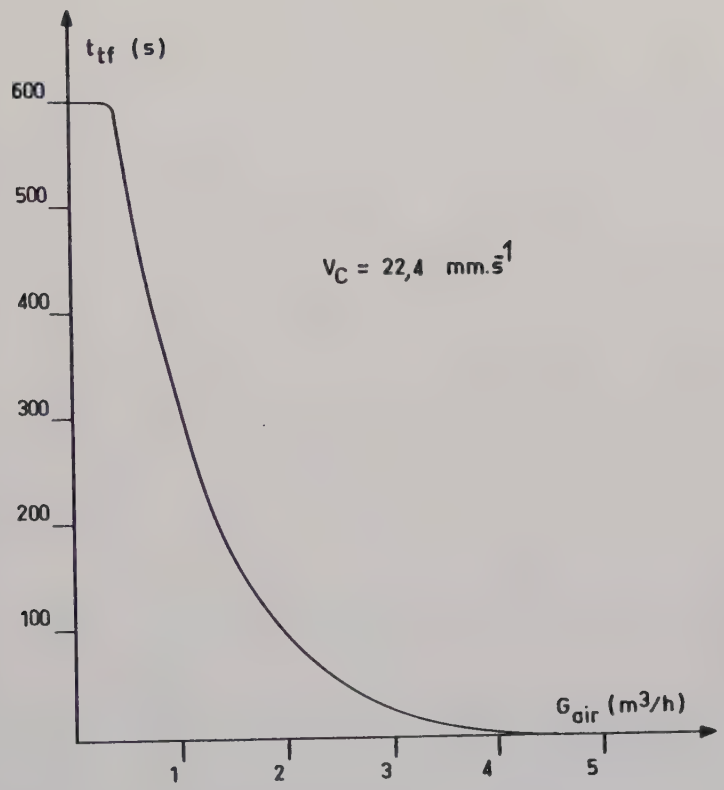


FIGURE 19 : Variation du T_{tf} VS G, Bassin B_3.

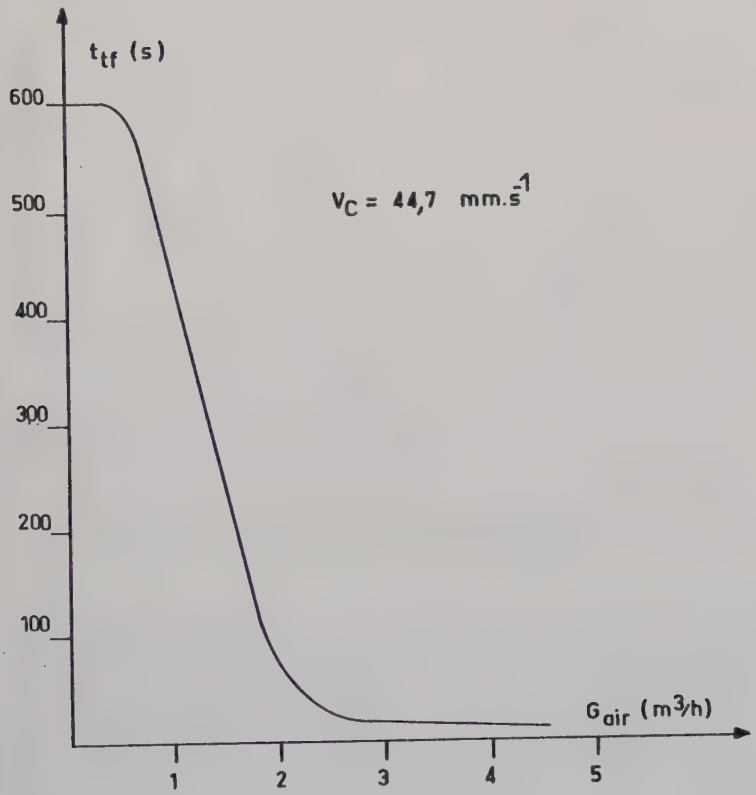


FIGURE 20 : Variation du t_{tf} VS G, Bassin B_3.

TABLEAU 5.a. : Rapport V_f/V_c dans le bassin B_3.

V_c mm/s	G mini m^3/h	V_f mm/s à G mini	$(V_f/V_c)_{mini}$	G max m^3/h	V_f mm/s à G max	$(V_f/V_c)_{max}$
22.4	0.45	100	4.46	2.45	230	10.3
43.8	0.8	130	3.0	2.8	245	5.6
65.3	1.75	206	3.2	5.25	310	4.75
62.2	1.8	210	3.0	5.65	330	4.8
75.7	3.4	266	3.5	7.9	370	4.9
79.4	3.55	270	3.4	10	404	5.1

TABLEAU 5.b. : Rapport V_f/V_c dans le bassin B_4.

V_c mm/s	G mini m^3/h	V_f mm/s à G mini	$(V_f/V_c)_{mini}$	G max m^3/h	V_f mm/s à G max	$(V_f/V_c)_{max}$
258	3.0	381	1.5	5.0	433	1.7
223	2.5	350	1.6	4.5	430	2.0
171.5	1.5	271	1.6	2.0	330	2.0
121	1.0	253	2	2.0	330	2.7
73.4	0.25	-	-	0.5	141	2.0

III.4. EXPERIMENTATION AVEC LA CHICOREE ET LES BOUES.-

Nous avons voulu effectuer en premier lieu une simulation des boues de station avec la chicorée bouillée dont le comportement serait analogue à celui des boues activées, les résultats précédents ne concernent qu'une particule individuelle.

Une concentration d'environ 2 g/l de la chicorée a été utilisée, qui approche celle des boues dans un réacteur de boues activées.

Nous avons observé son comportement dans le bassin après avoir estimé le G mini et G max correspondants.

Ces observations ont été faites dans le bassin B_3 en utilisant un rapport géométrique H/l = 1.

Les observations sont rapportées dans le tableau (6).

La simulation avec la chicorée conduit aux marques suivantes :

si l'on estime la vitesse de chute des particules de chicorée à 30 mm/s environ (soit 100 m/h) pour les plus lourdes, en retenant comme valeurs de G mini et G max, les valeurs moyennes :

$$G \text{ mini} = 0.75 \text{ m}^3/\text{h} \quad \frac{V_f}{V_c} \# 4$$

$$G \text{ max} = 3.5 \text{ m}^3/\text{h} \quad \frac{V_f}{V_c} \# 8$$

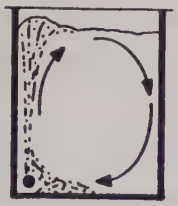
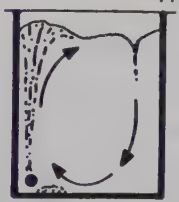
bit d'air air m^3/h	Observations
correspondant l'eau propre 0,5	 . Remise en suspension des particules les plus légères . Accumulation en milieu du bassin (fond) et au niveau de la rampe (zone d'arrêt) . Effet de paroi important
1 f = 129 mm/s	 . L'accumulation en milieu de bassin diminue . La remise en suspension se fait plus facilement . On observe très nettement un oeil de circulation Conclusion : nous pouvons dire que $0.5 < G$ mini $< 1\ m^3/h$
2 f = 210 mm/s	L'accumulation au niveau du diffuseur diminue.
3 f = 251 mm/s	Apparition de vortex  . Les vitesses de circulation et d'écoulement en fond deviennent importantes . Bonne circulation : les particules entraînées ne retombent pas, mais forment une trajectoire quasi circulaire . L'accumulation devient très faible. Le renouvellement du dépôt est assuré.
4 = 288 mm/s.	L'accumulation est pratiquement nulle. Conclusion : nous pouvons dire que $3 < G$ max $< 4\ m^3/h$. Pour G max = 3.5 m^3/h on a V_f de l'ordre de 26 cm/s. On peut dire, alors que la vitesse en fond doit être au moins égale à 26 cm/s pour maintenir en suspension les particules de chicorée.

TABLEAU 6 : Simulation avec la chicorée.

Ce qui correspond assez bien aux résultats précédents obtenus pour des particules individuelles.

Dans un deuxième temps, nous avons ensuite fait quelques expériences avec les boues activées provenant du décanteur secondaire de la station d'épuration de Toulouse.

Les boues obtenues d'une concentration de 6.4 g/l (en matière sèche) ont été diluées à 2.0 g/l. Une fois toutes les boues décantées, nous avons observé, comme pour la chicorée, le commencement de la mise en circulation jusqu'à la mise complète en circulation du lit décanté de boues. Ceci nous a permis de déterminer les valeurs de (G/L) mini et (G/L) max (ou G mini, G max). Les valeurs trouvées sont 0.35 m^2/h et 0.7 m^2/h respectivement ce qui correspond au V_f = 95 mm/s et V_f = 129 mm/s si l'on utilise les corrélations trouvées pour l'eau propre.

L'introduction de la boue activée modifie les caractéristiques physicochimiques de l'eau. Nous avons constaté une légère diminution de la vitesse en fond "V_f" en employant la boue au lieu de l'eau du robinet. La différence moyenne trouvée dans la vitesse V_f avec et sans boues est del'ordre de 15 %. Les mesures de V_f sont comparées dans le tableau (7), ce qui montre un rapport $\frac{V_f \text{ (avec boues)}}{V_f \text{ (eau propre)}}$ moyen d'environ 0.85.

Nos résultats montrent que la vitesse V_f d'environ

TABLEAU 7 : Comparaison de "V_f" avec et sans boues.

m^3/h G	V_f mm/s (avec les boues)	V_f mm/s (Eau propre)	Rapport
1	108	129	0.83
2	175.5	210	0.83
3	215.5	251	0.86
4	246	288	0.85
5	256	301	0.85
6	277.5	330	0.84

+ concentration de boues : 2 g/l

+ hauteur d'eau utilisée : 750 mm, bassin B_3, tube percé

+ rapport = $\frac{V_f \text{ (avec les boues)}}{V_f \text{ (eau propre)}}$

100 mm/s est suffisante pour la mise et le maintien en suspension de la biomasse, alors que la vitesse "V_f" couramment prise comme référence est de 300 mm/s.

III.5. CONCLUSIONS.-

Le maintien en suspension de particule individuelle dans un bassin d'aération sera assuré lorsque le rapport V_f/V_c sera supérieur à 6.0. Pour un bassin cylindrique, ce rapport n'est plus que 2.0, ce qui montre l'intérêt pour la circulation dans un bassin cylindrique.

En présence de chicorée ou de boues activées, le maintien en suspension est correct lorsque la vitesse en fond V_f est au moins égale à 10 cm/s, ce qui est inférieur aux 30 cm/s recommandés dans la littérature.

Bien entendu, il ne faut pas oublier que dans le cas des traitements biologiques des eaux, le transfert d'oxygène peut être le facteur qui déterminera le débit d'air et par conséquent la vitesse V_f qui pourra alors être supérieure à 10 cm/s.

C H A P I T R E IV

-oOo-

TRANSFERT DE L'OXYGENE DANS LES BASSINS D'AERATION

-oOo-

IV.1. Principe de la méthode de détermination du "Kla"

IV.2. Résultats expérimentaux

IV.3. Conclusion.

Le but de cette étude est d'apporter les informations concernant les possibilités de transfert d'O_2 des bassins aérés.

Les performances d'oxygénation d'un système d'aération se caractérisent par les critères suivants :

a) Capacité oxygénante : CO en Kg O_2/h

La capacité oxygénante CO est définie comme le taux d'absorption de l'oxygène durant l'aération sous les conditions normales (T = 20C°, P = 760mmHg) d'un liquide complètement désoxygéné.

$$CO = (Kla)20°C \cdot (\bar{C}^* - 0)_{20°C} \cdot v$$

Kla : facteur du transfert T^{-1}

C^* : concentration saturante d'O_2 (ML^{-3})

$\bar{C}^* = C^*_{20} \left(\frac{10.3 + H/2}{10.3} \right)$

v : volume L^3

b) Apport spécifique nominal (ASN) est défini comme le rapport de la capacité oxygénante CO par la puissance P fournie au système.

$$A.S.N. = \frac{CO}{P} = \frac{(Kla)_{20} \cdot \bar{C}^*_{20°} \cdot V}{P} \quad \text{en Kg } O_2/Kwh$$

Le calcul de P correspond à la puissance fournie par l'air au milieu liquide en supposant une détente isotherme de l'air.

$$P = G \cdot \rho \cdot g \cdot H.$$

L'apport spécifique brut ASB se définit par rapport à la puissance réellement dépensée. Celle-ci tient compte des pertes de charge dans les tuyauteries ainsi que du rendement mécanique de compresseurs. En général, on peut considérer que :

$$ASB = 0.7\ ASN.$$

c) Rendement en poids de transfert.

Le rendement de transfert (en poids) représente le rapport entre la quantité d'oxygène transférée et la quantité d oxygène introduite sous forme d'un débit gazeux.

$$r\ \% = \frac{Kla \cdot \bar{C}^{*} \cdot v \cdot 100}{G \cdot XO_2 \cdot \rho O_2}$$

G : débit gazeux introduit $L^3\ T^{-1}$

ρO_2 : masse volumique de l'oxygène ML^{-3}

XO_2 : pourcentage volumique d'oxygène dans le gaz

La détermination de ces critères passe par la connaissance du facteur de transfert Kla (produit du coefficient de transfert de film Kl par l'aire interfaciale volumique "a" m^2/m^3 du liquide).

IV.1. PRINCIPE DE LA METHODE DE DETERMINATION DU Kla.-

Dans le bassin d'aération rempli d'eau propre (eau du robinet), on amène la concentration d'oxygène dissous à zéro par addition de sulfite de sodium en présence d'ions cobalt. Pendant le fonctionnement du dispositif d'aération, on observe l'évolution de la concentration d'oxygène dissous en fonction du temps. Lorsque tout le sulfite introduit a été oxydé, la concentration d'oxygène dissous croît. Cette remontée d'O_2 en fonction du temps permet d'atteindre Kla.

Comme il s'agit d'un système en régime transitoire, le système est régi par l'équation suivante :

$$\frac{dc}{dt} = Kl \cdot \frac{A}{V} \cdot (C^* - C)$$

avec A = aire de contact L^2

C = concentration de l'oxygène dissous dans la masse liquide (ML^{-3})

Kl = coefficient de transfert côté film liquide (LT^{-1})

Dans la plupart des cas, les valeurs de Kl et A sont inaccessibles séparément. C'est la raison pour laquelle on détermine le produit :

$$Kl \cdot \frac{A}{V} = Kla$$

$a = \frac{A}{V}$ = aire de contact par unité de volume de liquide L^{-1}

En supposant que C^* est pratiquement constant (hypothèse d'un transfert faible, PRASERTHAM (7) , l'intégration de l'équation donne :

$$Kla = \frac{1}{t_2 - t_1} \log_e \frac{C^* - C_1}{C^* - C_2}$$

La courbe Log (C^* - C) en fonction du temps t est une droite, la pente permet de calculer la valeur de Kla.

Comme la température de l'eau n'était pas la même pour tous les essais, nous avons ramené les résultats de Kla à la température de 20°C en employant la formule de BEWATRA (8).

$$Kla\ 20°C = Kla_{(T)} \cdot 1.024^{(20 - T)} \qquad (18)$$

T : en degré celcius.

Tous les essais ont été faits en régime transitoire en déoxygénant l'eau du robinet. La déoxygénation est faite en ajoutant 150 mg/l de sulfite de sodium et 2.0 mg/l ions cobalt CO^{++} (soit 8 mg/l de chlorure de cobalt $CoCl_2 . 6 H_2O$) comme catalyseur, préalablement dissous dans l'eau.

La quantité de sulfite de sodium ajoutée permet de maintenir une concentration en oxygène dissout nulle dans

le liquide pendant quelques minute.

Au maximum trois essais ont été effectués avec la même eau. Nous avons employé deux sondes à oxygène (Y SI) l'une à une profondeur de 10 à 15 cm de surface et l'autre à mi-profondeur, H/2.

Les essais sont effectués dans les trois bassins rectangulaires B_1, B_2 et B_3 et le bassin cylindrique B_4.

Les paramètres géométriques étudiés sont les suivants :

- la hauteur d'eau pour un bassin donné
- la hauteur d'eau au-dessus du système d'aération
- la taille du bassin pour établir une relation d'extrapolation.

Les résultats seront complétés par ceux obtenus à l'Université de SHERBROOKE et sur les bassins pilote B_7 et réel B_8.

IV.2. RESULTATS EXPERIMENTAUX.-

L'ensemble des résultats expérimentaux sont présentés dans les tableaux de l'annexe "B". Les tableaux regroupent les valeurs de "Kla", CO, ASN et r pour les différents bassins utilisés.

Nous allons analyser successivement l'influence :

- du débit d'air G N m^3/h
- de la hauteur d'eau H m
- de la taille du bassin
- de la position du système d'aération.

IV.2.1. Influence du débit d'air.

Pour un bassin donné, la seule variable d'action est le débit d'air G, tous les autres paramètres du système étant conservés constants.

Il est donc normal que le facteur de transfert Kla soit une fonction croissante du débit d'air G introduit.

En effet, une augmentation de G se traduit par une augmentation de la surface d'échange "a". En adoptant une corrélation du type :

$$Kla = Cte\ G^{\alpha}$$

Les résultats expérimentaux montrent que les valeurs de α sont comprises entre 0.8 et 0.9 pour tous les bassins (Fig. 21).

La valeur numérique de α est en accord avec celle qui est trouvée dans le cas de colonne à bulles en ascension libre où "α" est compris entre 0.75 et 1.

Compte tenu de la valeur de l'exposant α l'ASN ou l'ASB diminue en fonction du débit gazeux "G" (Figure 22).

$$ASN \doteq \frac{Kla \cdot \overline{C^*} \cdot v}{G} \doteq G^{-0.2}$$

et il en est de même pour le rendement de transfert (cf résultats Annexe B).

IV.2.2. Influence de la hauteur d'eau.

Une étude complète de l'influence de la hauteur d'eau a été faite sur le bassin B_3 (où H = 375, 750, 950 mm). Pour un même débit gazeux, Kla décroît avec la hauteur H.

En adoptant un modèle en puissance, la variation de Kla avec H pour un débit fixé prend la forme suivante :

$$Kla \doteq H^{-0.4}$$

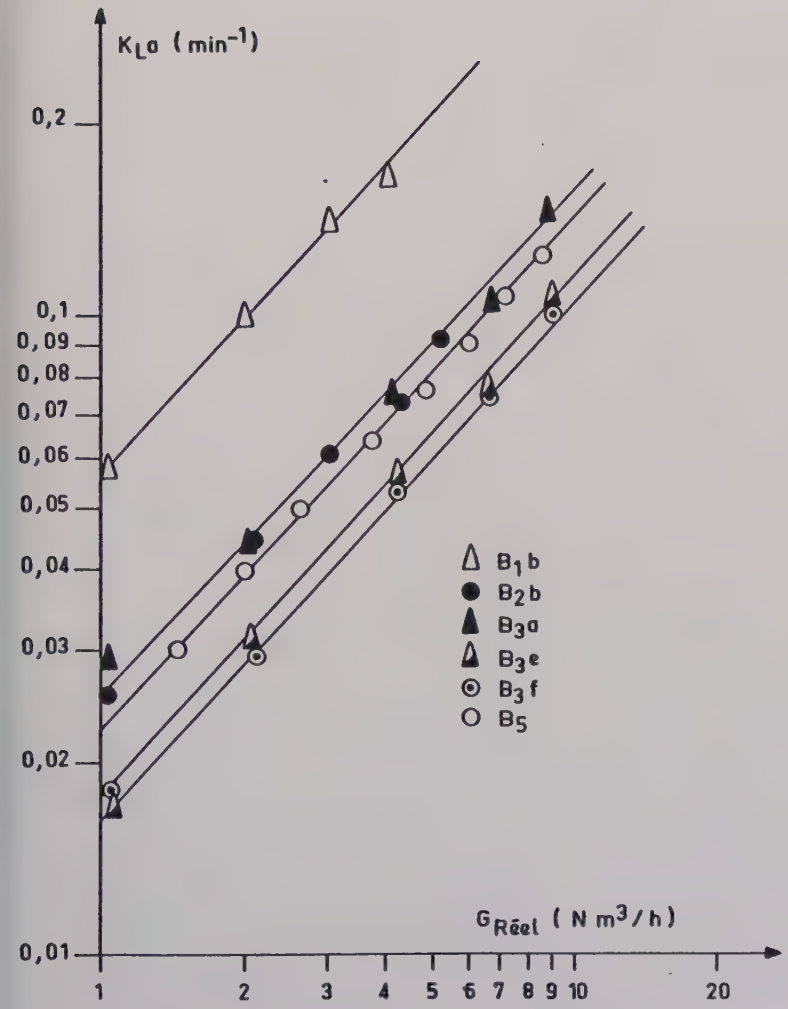


FIGURE 21 : Variation de Kla en fonction du G.

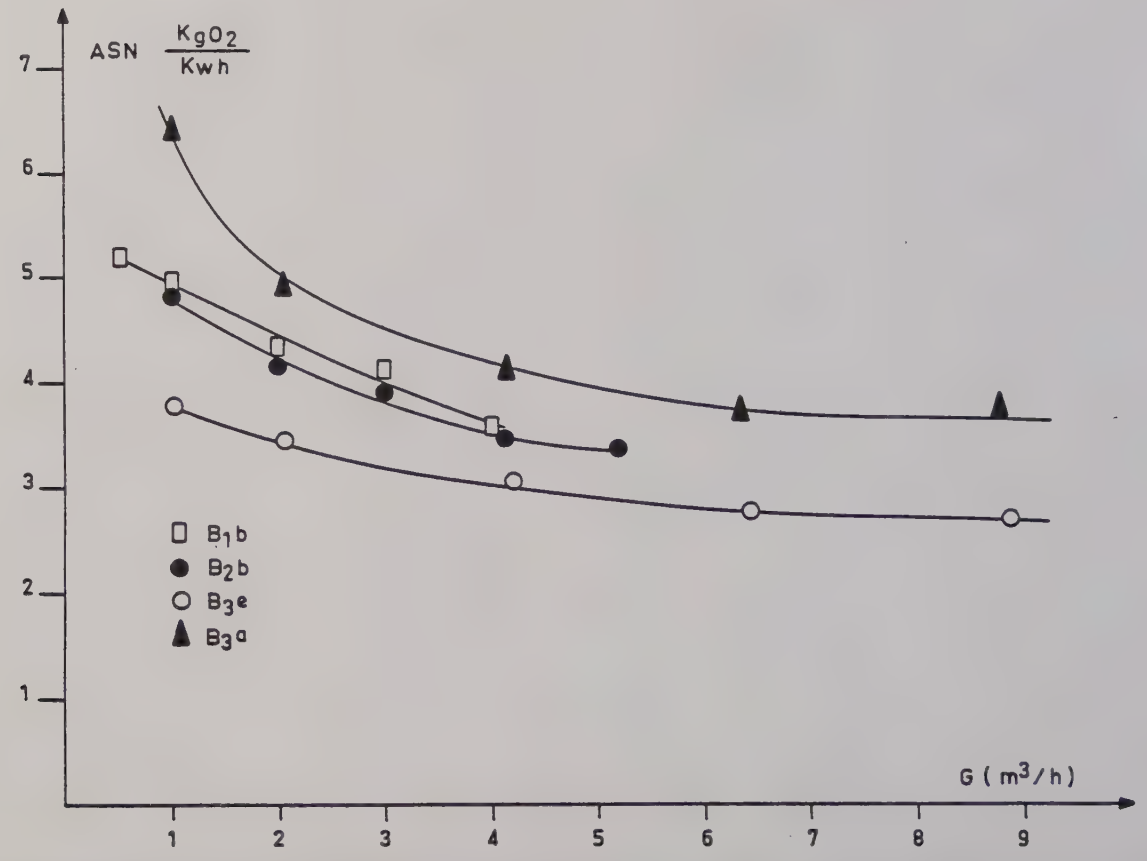


FIGURE 22 : Variation de l'ASN en fonction du débit gazeux G.

Dans le cas de colonne à bulles en ascension libre, Kla n'est pas en général fonction de la hauteur d'eau H, du moins s'il n'y a pas de coalescence de bulles dans la colonne. Ceci est dû au fait que la rétention gazeuse (par conséquent "a") est indépendante de "H" pour G fixe. PRASERTHAM (7).

LISTER (9) travaillant avec un bassin profond (1.5 x 1.5 x 8.5 m) ne trouve aucune influence de la hauteur d'eau H sur le facteur de transfert Kla. Ceci est dû au fait que leur bassin était équivalent à une colonne à bulles en ascension libre.

ROONEY (10) observe que le transfert d'oxygène est une fonction de débit d'air introduit et la hauteur d'eau H.

Il constate également que la géométrie du bassin affecte le processus d'aération par l'air diffusé dans le cas où le mélange et l'écoulement d'eau sont influencés par la géométrie.

Il ne faut pas cependant oublier que la dispersion du gaz doit également créer une circulation du liquide dans le bassin, si on a intérêt sur le plan transfert à diminuer la hauteur d'eau ($H/l < 1$). Par contre, sur le plan circulation, ce n'est pas favorable (ceci a été montré dans le chap. 2).

Si on examine le comportement du système de dispersion, dans notre cas, les tubes percés de trous, on peut faire les remarques suivantes :

. Le transfert d'oxygène s'effectue de trois façons différentes :

- par les jets gazeux sortant des tubes percés
- par les bulles d'air en ascension libre
- par la turbulence de la surface du bassin

. Une partie du transfert d'oxygène se fait dans la zone autour du jet qui s'étend jusqu'à la limite où le jet se fractionne en bulles. Cette hauteur est d'environ quelques cms et indépendante de la taille du bassin.

. Une autre partie de transfert se faït par les bulles d'air traversant la hauteur d'eau et par les petites bulles qui sont entraînées par la circulation.

On remarque que si le transfert était dû uniquement aux bulles en ascension libre, une diminution de la hauteur d'eau ne changerait pas "a" donc Kla.

. Le transfert d'oxygène par la surface du liquide peut devenir important à faible hauteur d'eau, car le rapport s/v augmente. Cependant il est très difficile de pouvoir quantifier chacune des contributions.

IV.2.3. Influence de la taille de l'installation.

Dans le cas de colonne à bulles en ascension libre pour avoir la même valeur du facteur de transfert Kla dans deux colonnes de taille différente, il suffit de conserver le débit gazeux G par unité de section droite de la colonne S

soit : $U_G = G/S$

Les corrélations sont donc du type :

$$Kla = Cte \ U_G^{\beta}$$

où β varie entre $0.8 < \beta < 1$ PRASERTHAM (7).

SHAH (11) en citant le travail réalisé sur des colonnes à bulles montre que le facteur du transfert peut se présenter sous la forme décrite ci-dessus (Tableau 8).

TABLEAU 8 : Valeurs de β et Cte selon SHAH (11).

Dispositif	Liquide	Cte	β	U_G m/s
i) colonne munie d'une buse d'1 mm D_C =0.2 m, H =2-7.2 m	Eau du robinet	0.467	0.82	0.002 - 0.08
ii) Colonne munie d'un verre frité D_C =0.1 - 0.15 m H =2.5 - 4.4 m	"	1.174	0.82	0.003 - 0.08

KASTANEK et al (12) indiquent que β ne varie pas en fonction du type de diffuseur. Ils trouvent la valeur de β qui varie dans l'intervalle de 0.78 à 0.82. Par contre, selon les données de SHAH (11), la constante "Cte" dépend fortement du type de diffuseur.

Pour les bassins d'aération, ZLOKARNIK (13) soutient que le facteur de transfert Kla varie linéairement avec la vitesse en fut vide U_G. HARREMÖES (3) propose que la valeur du Kla peut être exprimée en fonction de la vitesse caractéristique $(g.\ G/L)^{1/3}$.

Pour les bassins d'aération étudiés, une corrélation de type

$$KL = Cte\ U_G^{\beta}$$

ne peut convenir puisque nous avons montré que la hauteur d'eau H intervenait.

En reportant sur papier log-log $Kla = f(U_G)$ pour toutes les conditions expérimentales (Fig. 23), on constate que les droites sont fonction uniquement de la hauteur d'eau dans les bassins et que β est de l'ordre de 0.8.

soit $Kla = Cte\ U_G^{\beta} \cdot H^{\gamma}$

avec $\beta \sim 0,8$ et $\gamma \sim -0,4$.

qui peut se mettre sous la forme :

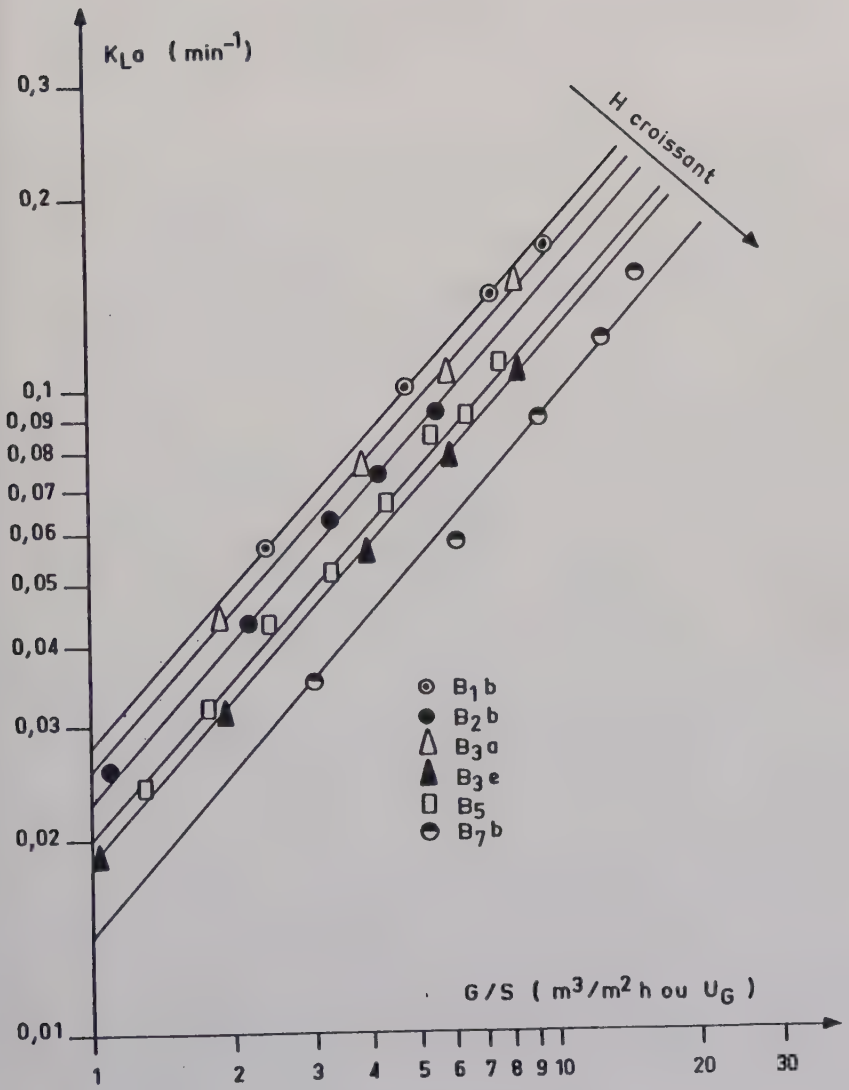


FIGURE 23 : Kla en fonction de "G/S"

$$Kla \div \left(\frac{U_G}{H^{1/2}}\right)^{x} \quad \text{avec } x \neq 0.8$$

or, l'expression $\frac{U_G}{H^{1/2}U_G}$ au facteur g près est similaire au nombre de FROUDE $\frac{U_G}{\sqrt{gH}}$

Sur la figure 24 sont reportées les variations de Kla en fonction $\frac{U_G}{\sqrt{H}}$ pour l'ensemble des données expérimentales obtenues sur les bassins B_1, B_2, B_3 et B_4, auxquelles ont été ajoutées les données obtenues à l'Université de Sherbrooke (Bassins B_5 et B_6) et sur les bassins B_7 ($V = 6\ m^3$) et B_8 ($V = 180\ m^3$).

La corrélation obtenue est :

$$Kla_{20°C} = 0.018 \left[\frac{U_G}{\sqrt{H}}\right]^{0.84}$$

avec Kla : facteur de transfert (mn^{-1})

U_G : vitesse de l'air en fut vide m/h = G/S

H : hauteur d'eau m.

Elle est valable pour les conditions suivantes :

- volume du bassin $0.0375\ m^3 < V < 180\ m^3$
- le rapport géométrique $0.5 < H/l < 1.5$
- configuration du système de dispersion longitudinale.

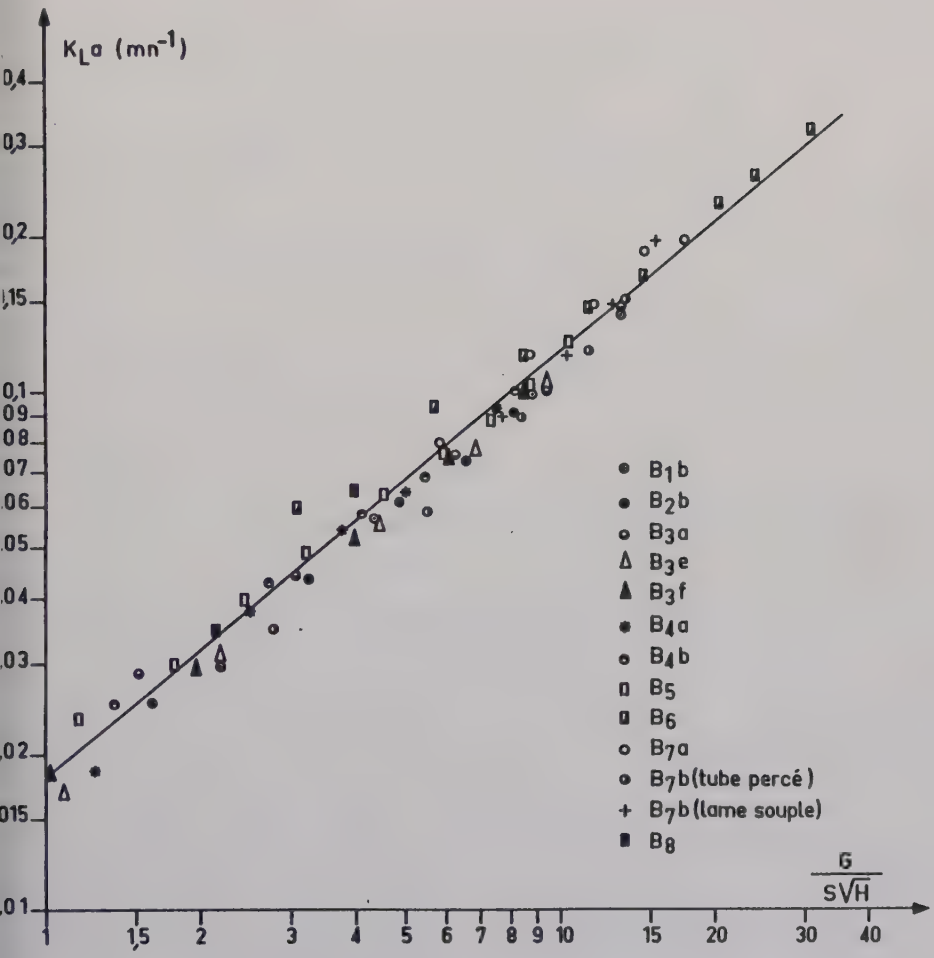


FIGURE 24 : Corrélation $Kla = f\left(\frac{G}{S\sqrt{H}}\right)$

Cette relation est valable uniquement pour le système d'aération à tubes percés quelque soit la forme du bassin, ce qui correspondrait à un système à moyennes bulles.

Afin de présenter une corrélation générale, nous pouvons utiliser trois nombres sans dimensions suivantes :

$$\text{Nombre de SHERWOOD } Sh = \frac{Kla \cdot H^2}{\mathbb{D}}$$

$$\text{Nombre de REYNOLDS } Re = \frac{U_G \quad H}{\nu}$$

$$\text{Nombre de FROUDE } \quad Fr = \frac{U_G}{\sqrt{gH}}$$

avec ν = viscosité cinématique de l'eau (m^2/s)

$\mathbb{D}$ = coefficient de diffusion moléculaire de l'oxygène dans l'eau ($m2/s$)

g = accélération de la pesanteur (m/s^2).

La relation prend la forme suivante :

$$Sh = 0.78 \cdot Re^{4/3} \cdot Fr^{-\frac{1}{2}}$$

avec $\mathbb{D} = 2.1 \times 10^{-9}$ m^2/s

$\nu = 10^{-6}$ m^2/s

$g = 9.81$ m/s^2

En ce qui concerne les valeurs numériques des ASN ou ASB, il faut remarquer qu'elles sont fonction de la taille du bassin.

En effet :

$$ASN = \frac{Kla \cdot \overline{C}^{*} \cdot V}{P}$$

$$= \frac{Kla \cdot \overline{C}^{*} \cdot V}{G.\rho. H \cdot g}$$

Or :

$$Kla = 0.018 \left(\frac{G/L1}{\sqrt{H}}\right)^{0.84}$$

$$\overline{C}^{*}_{20°C} = C^{*}_{H=0\ 20°C} \cdot \frac{10.33 + H/2}{10.33}$$

$$ASN \doteq \frac{\left(\frac{G}{L1\ H^{1/2}}\right)^{0.84} \cdot C^{*}_{H=o} \cdot \frac{10.33 + H/2}{10.33} \cdot L. 1. H}{G.\rho. H. g.}$$

Par simplification des termes constants :

$$ASN \doteq \left(\frac{G}{L1}\right)^{-0.16} \cdot H^{-0.42} \cdot \frac{10.33 + H/2}{10.33}$$

ou bien $ASN \doteq U_G^{-0.16} \cdot H^{-0.42} \frac{10.33 + H/2}{10.33}$

Le tableau 9 donne l'influence de la hauteur d'eau H sur l'ASN en considérant U_G = Cte et en prenant comme référence H = 0.5 m.

TABLEAU 9 : Influence de la hauteur H sur l'ASN.

H (m)	$H \cdot \left(\frac{10.33 + H/2}{10.33}\right)^{-0.42}$	Rapport $\frac{ASN\ H}{ASN_{0.5}}$
0.5	1.37	1
1.0	1.05	0.76
2.0	0.82	0.6
4.0	0.66	0.5
7.0	0.6	0.43
9.0	0.57	0.42

On remarque qu'en conservant U_G = Cte, ce qui correspond à P/V = Cte, l'ASN diminue en fonction de la hauteur d'eau H. Ceci veut dire que des résultats obtenus à l'échelle pilote (ASN) ne seront pas les mêmes à l'échelle réelle si le critère U_G est conservé constant dans l'extrapolation (voir Chap. 5).

IV.2.4. Rendement "r".

Le rendement r calculé pour tous nos essais sont présentés dans le tableau de l'Annexe "B".

Selon la définition du rendement :

$$r = 100 \cdot \frac{Kla \cdot \overline{C}^{*} \cdot V}{G \cdot X_{O2} \cdot \rho_{O_2}}$$

comme $Kla \doteq \left(\frac{G}{S\sqrt{H}} \right)^{0.84}$

Donc $r \doteq G^{-0.16}$

Nous observons que :

- pour un bassin donné le rendement diminue avec le débit gazeux
- pour des bassins de dimensions différentes, le rendement augmente avec la hauteur du bassin
- si on définit le rendement par mètre de hauteur d'eau, on constate que celui-ci est compris entre 2 et 5 % par mètre d'eau.

IV.2.5. Immersion de diffuseur.

Nous avons également fait quelques essais pour déterminer les effets d'immersion du diffuseur sur la valeur de Kla. Ces essais ont été faits dans le bassin B_3 en faisant varier la position du diffuseur avec une hauteur d'eau fixée de 750 mm (Fig. 25). Les valeurs du Kla obtenues sont reportées sur le tableau B.II de l'Annexe "B".

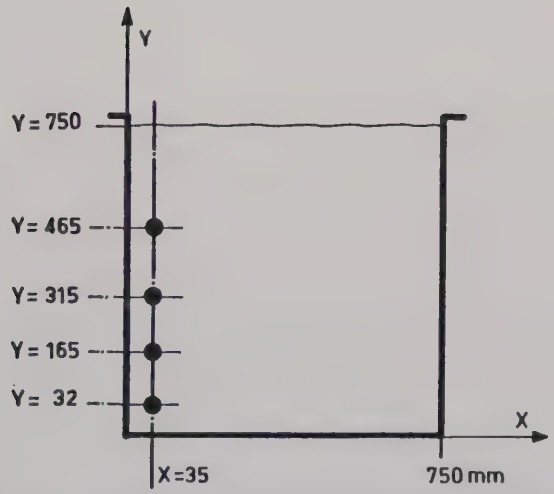


FIGURE 25 : Positions verticales du diffuseur, bassin B_3.

Ces expériences nous ont permis de quantifier l'effet créé par la diminution d'immersion du diffuseur : une décroissance dans les valeurs de Kla a été observée en fonction de la hauteur Y, c'est-à-dire si Y ↑ .... Kla ↓.

Cette décroissance peut être expliquée par :

- une baisse de la rétention gazeuse et donc de la surface d'échange en montant le diffuseur vers la surface.

La rétention gazeuse dans l'eau est définie :

$$h = \frac{V_G}{V_G + V_L}$$

et la surface d'échange :

$$a = \frac{6}{d_B} \left(\frac{h}{1 - h} \right)$$

où V_G : désigne volume gazeux dans le milieu liquide L^3

V_L : désigne le volume du fluide L^3

d_B : diamètre des bulles L

Avec la diminution de l'immersion du diffuseur dans le bassin, on diminue la distance traversée par les bulles donc on a un temps de contact du gaz dans le liquide plus petit et de plus comme nous l'avons décrit dans le chapitre 2, une faible vitesse de circulation du liquide.

Dans ces conditions, les deux phénomènes provoquent une baisse de la valeur de V_G, donc de h. Ceci se traduit par la diminution de "a" et donc de Kla.

Si on travaille à une même hauteur d'eau dans un bassin donné et si on diminue l'immersion de la rampe, cette diminution dans les valeurs de Kla n'est pas linéairement proportionnelle au rapport H^*/H (fig. 26). Ceci démontrerait la contribution importante du jet gazeux au niveau du transfert. Cette contribution est la même quelque soit la hauteur d'immersion.

Comme pour le cas précédent, nous avons reporté les valeurs de Kla obtenues à différentes immersions du diffuseur en fonction du débit d'air G, ce qui prend la forme suivante :

$$Kla_{20°} \div (G)^{0.84}$$

Lorsqu'on étudie les effets créés par les différentes immersions du diffuseur, nous avons tracé les valeurs de Kla en fonction du rapport H^*/H, on obtient une relation similaire :

$$Kla_{20°C} \div \left(\frac{H^*}{H}\right)^{0.84}$$

En combinant ces deux dernières équations, la corrélation obtenue pour le bassin B_3 (H/l = 1) est :

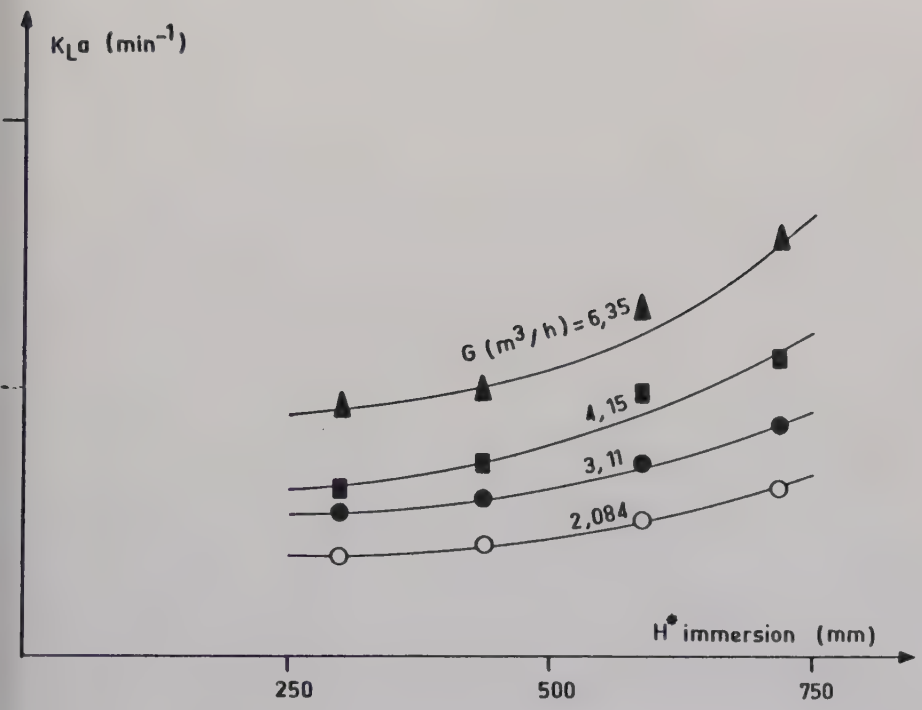


FIGURE 26 : Variation de Kla en fonction de l'immersion du diffuseur, B_3.

$$Kla_{20°C} = 0.017 \left(G \right)^{0.84} \left(\frac{H^*}{H} \right)^{0.84}$$

Cette expression est présentée sur la figure 27.

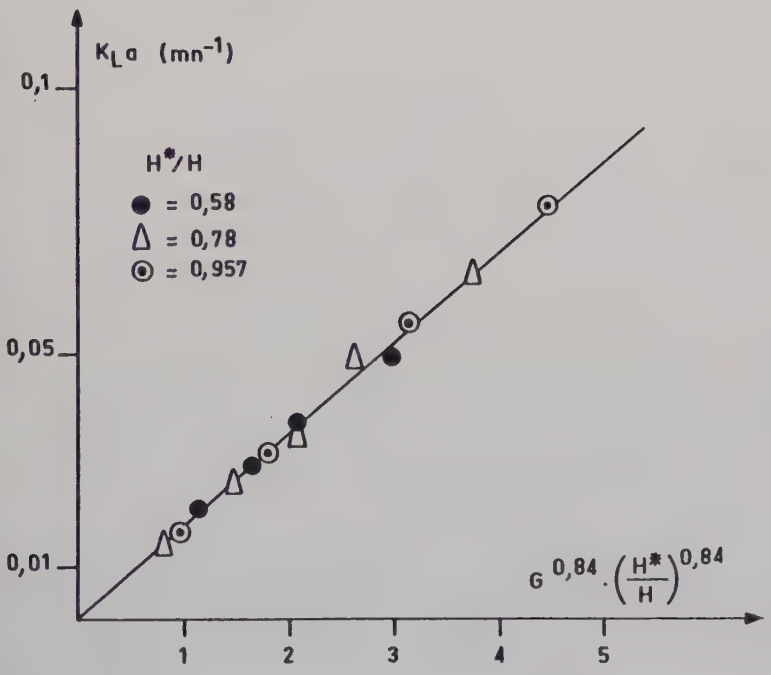


FIGURE 27 : Représentation des résultats de transfert d'O_2, B_3
Influence de l'immersion des diffuseurs sur Kla.

IV.3. CONCLUSIONS.-

Une étude du transfert d'Oxygène en tenant compte des aspects géométriques des bassins d'aération a été réalisée.

Dans cette étude, nous avons quantifié l'influence de plusieurs paramètres sur le transfert d'O_2 entre les bulles d'air et le liquide.

- le débit gazeux insufflé
- la hauteur du bassin
- la taille du bassin
- la position du diffuseur.

Une relation générale a été développée reliant Kla, U_G et la hauteur d'eau qui a été mise sous forme de nombres sans dimension (Sh, Re et Fr). Ceci permet de bien représenter les résultats obtenus durant nos essais.

Le calcul de rendement du transfert d'O_2 montre qu'à une hauteur d'eau et à une immersion de la rampe fixée, le rendement décroît avec le débit d'air G pour tous les bassins.

Le critère ASN est une fonction décroissante de la taille du bassin et du débit d'air G insufflé.

Nous avons également étudié l'influence, sur la valeur du Kla, que peut produire la position du diffuseur.

Une décroissance dans les valeurs de Kla a été observée en fonction de la hauteur d'eau au-dessus de la rampe. Nous avons expliqué cet effet par un abaissement de la rétention gazeuse avec la diminution de l'immersion du diffuseur (H^*).

C H A P I T R E V

-oOo-

EXTRAPOLATION DES RESULTATS

-oOo-

V.1. Extrapolation.

V.2. Remarques.

V.1. EXTRAPOLATION.-

L'ensemble des résultats expérimentaux obtenus concernant :

- la circulation du liquide
- le transfert d'oxygène

ont permis de proposer les deux corrélations suivantes :

$$\bar{V} \text{ (ou } V_f) \div \left(\frac{G}{L}\right)^x$$

où x = 0.45 pour le bassin rectangulaire

x = 0.4 pour le bassin octangulaire

x = 0.36 pour le bassin cylindrique.

$$Kla \doteq \left(\frac{G}{S\sqrt{H}}\right)^y$$

où y = 0.84 en utilisant les tubes percés.

Elles montrent que :

- la grandeur caractéristique qui va fixer la vitesse en fond V_f (ou $\bar{V}$) est le débit d'air par unité de longueur de bassin G/L,
- la grandeur caractéristique qui va fixer la valeur du facteur de transfert Kla est le débit d'air par unité de surface du bassin et par hauteur du bassin ($H^{\frac{1}{2}}$).

Actuellement, les critères d'extrapolation concernant la circulation du liquide (avoir V_f = 0.3 m/s en fond) pris en considération sont :

- soit conserver un débit d'air par unité de volume du bassin

$$\frac{G}{V} = Cte \quad 1.5\ m^3/h.m^3 \text{ selon PALLASCH (6).}$$

- soit conserver une puissance par unité de volume $\frac{P}{V}$ = Cte, ce qui revient dans le cas des systèmes d'aération à insufflation d'air, à conserver U_G = Cte

$$\frac{P}{V} = \frac{G \cdot \rho \cdot g\ H}{H \cdot S} \quad \div \quad \frac{G}{S}$$

Les critères que nous avons trouvés sont donc différents de ces derniers.

Afin de faire une comparaison des différents critères possibles d'extrapolation, nous avons reporté dans letableau 10 l'évolution d'un certain nombre de paramètres en fonction du choix de la grandeur caractéristique conservée constante dans une extrapolation.

Les paramètres choisis sont :

- le débit gazeux G
- la vitesse $\bar{V}$ ou V_f
- le facteur de transfert Kla

- la puissance dissipée P
- la puissance dissipée par unité de volume P/V
- la capacité de transfert $CO_{\frac{KgO_2}{h}}$
- la capacité de transfert/unité de volume de bassin CO/V
- l'apport spécifique nominal $\frac{CO}{P}$ Kg O_2/Kwh

TABLEAU 10 : Facteurs d'extrapolation.

Caractéristiques	Grandeur conservée constante			
	1er cas	2ème cas	3ème cas	4ème cas
	G/L	G/S	$\frac{G}{S\sqrt{H}}$	G/V
G	K	K^2	$K^{2.5}$	K^3
V_f ou $\bar{V}$	1	$K^{0.45}$	$K^{0.68}$	$K^{0.9}$
Kla	$K^{-1.26}$	$K^{-0.42}$	1	$K^{0.42}$
P	K^2	K^3	$K^{3.5}$	K^4
P/V	K^{-1}	1	$K^{0.5}$	K
CO	$xK^{1.74}$	$xK^{2.58}$	xK^3	$xK^{3.42}$
CO/V	$xK^{-1.26}$	$xK^{-0.42}$	x	$xK^{0.42}$
CO/P	$xK^{-0.26}$	$xK^{-0.42}$	$xK^{-0.5}$	$xK^{-0.58}$

K est un facteur d'extrapolation géométrique, donc toutes les dimensions géométriques du bassin seront multipliées par K.

Capacité oxygénante $CO = Kla\ \overline{C^*}.V$

$$\frac{CO}{V} = Kla\ \overline{C^*}$$

$$\overline{C^*} = x\ C^*$$

où $x = \frac{10.33 + H/2}{10.33}$

x est compris entre 1 et 1.2 pour des bassins dont la hauteur H est comprise entre 0 et 5 m.

. 1er cas : G/L = Cte

- $\overline{V}$ ou V_f est maintenue constante
- par contre Kla, CO/V et CO/P diminuent fortement en particulier CO/V.

. 2ème cas : $(\frac{G}{S})$ ou P/V = Cte

- $\overline{V}$ ou V_f augmente ce qui est favorable pour la circulation et donc pour le maintien en suspension
- par contre Kla, CO/V et CO/P diminuent.

. 3ème cas : $\frac{G}{S\sqrt{H}}$ = Cte

- $\overline{V}$ ou V_f augmente ce qui est favorable pour la circulation
- Kla, CO/V sont constants mais CO/P diminue toujours.

. 4ème cas : $\frac{G}{V} = Cte$

- $\bar{V}$ ou V_f augmente, l'effet est favorable sur la circulation
- Kla et CO/V augmentent ce qui est favorable au point de vue transfert
- CO/P diminue toujours.

V.2. REMARQUES.-

Dans tous les cas envisagés, le terme CO/P (Kg O_2/Kwh) diminue. Il s'agit d'un résultat intéressant car il démontre :

- qu'il est impossible d'obtenir à l'échelle pilote et à l'échelle industrielle la même valeur de l'ASN,
- qu'à l'échelle réelle, l'ASN sera toujours inférieur à la valeur trouvée à l'échelle pilote. Il faut donc être très prudent si on considère comme critère de comparaison l'ASN dans le cas de système à insufflation d'air.

S'il importe, dans un procédé de maintenir en suspension les solides, il faudra prendre G/L = Cte pour obtenir le même résultat à l'échelle industrielle.

Si, dans un procédé, il importe de maintenir CO/V = Cte soit Kla, il faudra prendre $\frac{G}{S\sqrt{H}} = Cte$. La circulation du fluide étant de toute façon favorisée quand on change d'échelle en considérant ce critère.

C H A P I T R E VI

-oOo-

CONCLUSIONS GENERALES

-oOo-

Nous nous étions fixés trois objectifs pour notre étude sur les bassins aérés. Ils concernaient :

- la circulation
- le transfert de l'oxygène
- l'extrapolation.

1) En ce qui concerne la circulation, nous avons montré que la grandeur caractéristique qui fixe la vitesse en fond V_f (ou la vitesse moyenne $\bar{V}$) est le débit d'air par unité de longueur de système de dispersion G/L. Nous nous sommes particulièrement intéressés à la valeur de la vitesse en fond V_f car c'est elle qui est responsable de la mise et du maintien en suspension de solides. Nous avons proposé alors plusieurs corrélations selon la géométrie du bassin d'aération

$$V_f = p \left(\frac{G}{L}\right)^x$$

p et x sont dépendants de la géométrie du bassin et du positionnement du système d'aération. La valeur de x a été comparée à celle trouvée par plusieurs approches théoriques. Les résultats obtenus sur les bassins B_1' à B_5 montrent que p et x sont indépendants de l'échelle pour des systèmes géométriquement semblables. Cependant, il faudrait vérifier en particulier la valeur de p à des tailles plus importantes de bassins rectangulaires.

Nous avons déterminé les conditions pour lesquelles la vitesse en fond V_f est maximale :

- pour les bassins rectangulaires, le rapport hauteur/largeur H/l doit être très voisin de 1 et le système de dispersion doit se situer le plus près du fond du bassin près d'une paroi verticale
- en comparant différentes géométries de bassin, les bassins cylindriques permettent d'avoir une vitesse en fond V_f la plus importante à même valeur de G/L.

En présence de solides, nous avons montré que le rapport V_f/V_c doit être 10 pour que toutes les particules soient maintenues en circulation dans tout le bassin. Avec des boues activées, une vitesse en fond V_f de 10 cm/s paraît suffisante pour un maintien en circulation complet. Cette valeur est nettement plus faible que celle couramment admise actuellement ($V_f \backsim 30$ cm/s).

2) L'apport d'air par le système de dispersion doit également permettre d'assurer un transfert d'oxygène suffisant pour les microorganismes présents. Pour cela, nous avons déterminé le facteur de transfert Kla (mn^{-1}) dans les bassins B_1 à B_6, complétés par des données obtenues sur des bassins plus importants (6 et 180 m^3) de géométrie différente (B_7 et B_8).

Nous proposons une corrélation valable pour des systèmes de dispersion à moyennes bulles, placés le long d'une paroi du bassin, permettant de prévoir la valeur de Kla.

$$\underset{mn^{-1}}{Kla} = 0.018 \left[\frac{U_G}{\sqrt{H}}\right]^{\substack{0,84 \\ \cdots\cdots m/h \\ \cdots\cdots m}}$$

corrélation qui peut se mettre sous forme adimensionnelle $Sh = f(Re, Fr)$.

Les calculs de l'ASN montrent en particulier que la valeur de cette grandeur dépend de la taille de l'installation, et diminue avec celle-ci. Il ne faudra donc pas s'attendre à avoir des résultats analogues à l'échelle industrielle et à l'échelle pilote, avec les bassins aérés. Or, l'ASN est un critère fortement utilisé pour comparer divers systèmes d'aération.

3) Enfin, concernant l'extrapolation, nous avons pu déterminer la grandeur caractéristique qui fait fixer les critères choisis : circulation et transfert.

Pour la circulation, le rapport G/L est la grandeur qui va fixer la vitesse en fond $V_f \cdots\cdots G/L = Cte \longrightarrow V_f = Cte$.

Pour le transfert d'oxygène, Kla sera maintenu constant si $U_G/\sqrt{H}$ est constant (pour des bassins d'aération garder Kla = Cte revient à garder $CO/V\ KgO_2/h.m^3$ = Cte. Or, pour

des systèmes biologiques identiques, c'est cette dernière grandeur qui doit rester constante d'une échelle à l'autre).

Ces deux grandeurs caractéristiques G/L et $U_G/\sqrt{H}$ ont été comparées aux grandeurs qui étaient alors prises en compte lors d'une extrapolation.

Nous pensons, donc, que les objectifs fixés ont été quasiment atteints. Nous souhaiterions cependant que des expérimentations sur des bassins beaucoup plus grands, munis d'autres systèmes de dispersion, puissent être faits, pour savoir si les résultats obtenus sur la circulation et le transfert peuvent être généralisés.

N O M E N C L A T U R E

-oOo-

N O M E N C L A T U R E

-oOo-

a	aire interfaciale volumique	L^{-1}
A	aire de contact	L^2
ASB	apport spécifique brut	KgO_2/Kwh
ASN	apport spécifique nominal	KgO_2/Kwh
B	largeur du diffuseur	L
C	concentration de l'oxygène dissous	ML^{-3}
C^*	concentration à saturation d'O_2 dans l'eau	ML^{-3}
$\overline{C^*}$	concentration à saturation d'O_2 corrigée à mi-hauteur d'eau	ML^{-3}
CO	capacité oxygénante	MT^{-1}
d_B	diamètre moyen des bulles	L
D_c	diamètre de la colonne	L
D_H	diamètre hydraulique	L
D	coefficient de diffusion moléculaire de l'oxygène	$L^2\ T^{-1}$
f	coefficient de friction	
Fr	nombre de Froude = $\frac{U_G}{\sqrt{gH}}$	
g	accélération de la pesanteur	$L\ T^{-2}$
G	débit gazeux (G mini = débit d'air minimum, G max = débit d'air maximum).	$L^3\ T^{-1}$

G_R	débit gazeux réel	$L^3\ T^{-1}$
G_L	débit gazeux lu	$L^3\ T^{-1}$
h	rétention gazeuse	
ho	position du point de vitesse horizontale nulle	L
Δh	différence de niveau à la surface du bassin	L
H	hauteur du liquide dans le bassin	L
Ho	préssion atmosphérique en m.e.e (mètre de la colonne d'eau)	L
H^*	immersion du système de dispersion	L
K	facteur de l'extrapolation géométrique	
Kl	coefficient de transfert du côté film liquide	$L\ T^{-1}$
Kla	facteur de transfert	T^{-1}
l	largeur du bassin	L
L	longueur du bassin	L
L_{eq}	longueur équivalente ($L_{eq} = l + 2H$)	L
P	Puissance consommée (fournie) pour l'aération	$ML^2\ T^{-3}$
Pc	Puissance de la circulation du liquide	$ML^2\ T^{-3}$
ΔP	Perte de charge (mmHg)	
q	débit gazeux par unité de longueur du bassin $q = G/L$	$L^2\ T^{-1}$
q'	débit de circulation du liquide par unité de longueur du bassin	$L^2\ T^{-1}$
Qc	débit de circulation du liquide	$L^3\ T^{-1}$
r	rendement (transfert d'O_2)	%

$\bar{r}$	rendement par mètre de prodondeur	%/m
Re	nombre de Reynolds = $\frac{U_G \, H}{D}$	
R_H	rayon hydraulique	L
s	aire superficiel du bassin	L^2
Sh	nombre de Sherwood = $\frac{Kla \cdot H^2}{D}$	
t	temps	T
T	température en degré celcius	
T_{tf}	temps total passé au fond	T
U'	Vitesse initiale du jet	LT^{-1}
U_G	vitesse superficielle de l'air ($U_G = \frac{G}{L.l}$)	LT^{-1}
Um	vitesse à l'axe central d'une panache ascensionnelle	LT^{-1}
v	volume	L^3
V_f	vitesse en fond du bassin	LT^{-1}
V_{fo}	vitesse en fond du bassin à (X_1 = 35 mm) (Y_1 = 32 mm)	LT^{-1}
V_G, V_L	volume du gaz et liquide respectivement	L^3
V_c	vitesse de chute de la particule solide	LT^{-1}
$\bar{V}$	vitesse moyenne de circulation	LT^{-1}
$\bar{V}_p$	vitesse moyenne déterminée par le profil de vitesse	LT^{-1}
$\bar{V}_s$	Vitesse en surface	LT^{-1}
$\bar{V}_t$	vitesse moyenne déterminée par la méthode du traceur	LT^{-1}
X_i	distance horizontale	L
X_{O_2}	pourcentage volumique d'O_2 dans le gaz	
Y_2	distance verticale	L

L E T T R E S G R E C Q U E S

-oOo-

$\alpha\ \beta\ \gamma$	exposant	
λ	facteur de frottement	
ν	viscosité cinématique du liquide	$L^2\ T^{-1}$
ρ	masse volumique du fluide	ML^{-3}
ρ'	masse volumique du mélange air-eau	ML^{-3}
$\Delta\rho$	défini par $= \rho - \rho'$	
ρ_{O_2}	masse volumique d'Oxygène	ML^{-3}
τ_c	temps de circulation	T
$\div$	proportionnel à ...	

B I B L I O G R A P H I E

-oOo-

B I B L I O G R A P H I E

-oOo-

1. ABRAHAM G ; Rijkwaterstaat Communications. nr. 17 The Hague (1973).

2. SJÖBERG A ; Chalmers Tekniska Högskola, Institutionen för vattenbygnad, Meddlelande no.39, Göteborg (1967).

3. HARREMOES P ; AIRPE - Conférence sur l'Aération 19-22/9/78 RAI - AMSTERDAM (1978).

4. BULSON P.S ; The Dock and Harbour authority vol. 42, no. 487, pp 15-22 (mai 1961).

5. FAIR G.M ; GEYER J.C. ; OKUN D.A ; "Treatment kinatics", Water and wastewater engineering volume 2, Ed. John Wiley and Son (1968).

6. PALLASCH D ; Lehr - und Handbuch der Abwasser - Technik ; Bound II (1969).

7. PRASERTHAM P ; Thèse docteur ingénieur, Institut National des sciences appliquées Toulouse (1979).

8. BEWATRA J.K ; NICHOLAS W.R ; POLOMSKI L.B ; Water research, 4, 115 (1970).

9. LISTER A.R ; BOON A.G ; Water pollut control, 72, 590 (1973).

10. ROONEY T.C. et MIGNONE N.A ; Purdue University Conference (1978).

11. SHAH Y.T ; KELKAR G ; GODBOLE S.P. et DECKWER W.D ; AICHE Journal (vol 28, n° 3), pp 353 mai 1982.

12. KASTANEK F ; Coll. Czechoslov. Chem. Commun., 42, 2491 (1977).

13. ZLOKARNIK M ; Journées d'études gaz-liquide, Toulouse, France (1979).

*
* *

A N N E X E " A "

-oOo-

MESURES DE VITESSE

-oOo-

TABLEAU A.1. : Vitesse en fond "V_f" dans les bassins rectangulaires.

		Vitesse au fond "V_f" mm/s							
Bassin 1 (tube percé)	GL m^3/h	1	1.2	1.5	2.0	2.5	3	3.5	4.0
	H 220 mm	62	88	101	125	138	155	170	179
	H 295 mm	94	107	126	153	174	189	201	211
	H 380 mm	98	107	113	150	167	188	200	207
Bassin 2 (tube percé)	GL m^3/h	1	1.5	2.5	3.0	3.5	4.0	4.5	5.0
	H 380 mm	70	96	124	131	149	155	176	187
	H 450 mm	82	109	138	155	167	177	187	202
	H 520 mm	125	165	202	214	230	252	270	
Bassin 3 (tube percé)	GL m^3/hs	1.0	2.0	3.0	4.0	5.0	6.0		
	H 400 mm	70	100.5	133	151	162	174		
	H 575 mm	111	173.5	210	233	261	277		
	H 660 mm	122	183	216	238	274	295		
	H 750 mm	129	210	251	288	301	332		
	H 950 mm	130.7	189	228	260	271	294		
Bassin 3 (tube percé)	GR N m^3/hs	1.56	2.04	3.6	5.23	6.8	8.5	10.20	
	H 513 mm	230	260	320	380	440	470	500	

* GL : débit gazeux lu m^3/h

* GR : débit gazeux réel N m^3/h

TABLEAU A.2. : Vitesse en fond dans les bassins rectangulaires.

		Vitesse au fond "V_f" mm/s						
(Tube Aérox)	GL_3 m^3/hs	1	1.2	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0
	H 220 mm	98	-	132.5	164	181	202	219	233
	H 295 mm	133	147	160	191	212	243	254	-
	H 380 mm	120	134	147	180	192	211	224	-
(Tube Aérox)	GL m^3/h	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0	5.0
	H 380 mm	87	-	151	164.5	183	200	211	235.5
	H 450 mm	96	-	167	196	206	-	236	-
	H 520 mm	111	-	185	-	246	257	273.5	303.4
(Tube Aérox)	GL m^3/hs	1		2.0	3.0	4.0	5.0	6.0	
	H 400 mm	65		123	165	195	205	227	
	H 575 mm	117		170	205	239	255	284	
	H 660 mm	121		182	216	253	274	305	
	H 750 mm	130		197	232	270	294	330	
	H 950 mm	125		191	224	261	288	300	

* GL : débit gazeux lu m^3/h

TABLEAU A.3 : Vitesse au fond dans le bassin cylindrique B_4 (Tube percé)

		Vitesse à 30 mm du fond mm/s							
	$GL\ m^3/h$	0.5	1.0	1.5	2.0	3.0	4.0	5.0	6.0
Pos. 1	Y=50 mm		210		296	326	363	378	396
Pos. 2	Y=50 mm	141	253	271	330	381	414	433	456
	Y=100 mm		155		246	295	331	362	393
	Y=150 mm		43.5		67.6	110	146.5	185	240
Pos. 3	Y=50 mm		230.5		312	355	394.5	423	436.5
Pos. 4	Y=50 mm		191		264	307	337	357	361

(Tubes percés)

* GR : débits gazeux réels N m^3/h ont été calculés pour toutes les valeurs de G_L (débit lu).

TABLEAU A.4 : Vitesse en déplaçant le diffuseur (tube percé)

			"V_f" mm/s dans le bassin B_3					
		G_L m^3/h	1	2	3	4	5	6
H = 750 mm, Y = 32 mm	X = 35 mm	V_{fo}	129	210	251	288	301	332
		V_{fo}/V_{fo}	1	1	1	1	1	1
	X = 125 mm	V_f mm	69.2	178	229.5	265	308.6	331.5
		V_f/V_{fo}	0.53	0.85	0.91	0.92	1.00	0.99
	X = 187 mm	V_f mm		97	127	154	251	295.6
		V_f/V_{fo}		0.46	0.506	0.53	0.83	0.89
H = 660 mm, Y = 32 mm	X = 35 mm	V_{fo}	122	183	216	238	274	295
		V_{fo}/V_{fo}	1	1	1	1	1	1
	X = 125 mm	V_f	73.4	147	212	247	289	309.4
		V_f/V_{fo}	0.6	0.8	0.98	1.03	1.09	1.04
	X = 187 mm	V_f		80.25	100	123	145	176
		V_f/V_{fo}		0.44	0.46	0.51	0.52	0.6
H = 575 mm, Y = 32 mm	X = 35 mm	V_{fo}	111	173.5	210	233	261	277
		V_{fo}/V_{fo}	1	1	1	1	1	1
	X = 125 mm	V_f	54	112	146	182	231.5	260.5
		V_f/V_{fo}	0.48	0.64	0.69	0.78	0.88	0.94
	X = 187 mm	V_f		64.2	84.6	100	120.4	130.5
		V_f/V_{fo}		0.37	0.4	0.42	0.46	0.47

A N N E X E " B "

-oOo-

TABLEAU B.I.1. Résultats de transfert d'oxygène.

B_1, b						B_2, b						B_3, a					
G $N\ m^3/h$	$Kla^{min^{-1}}$	CO gO_2/h	A.S.N KgO_2/Kwh	r %	$\bar{r}$ %/m	G $N\ m^3/h$	$Kla^{min^{-1}}$	CO gO_2/h	A.S.N KgO_2/Kwh	r %	$\bar{r}$ %/m	G $N\ m^3/h$	$Kla^{min^{-1}}$	CO gO_2/h	A.S.N KgO_2/Kwh	r %	$\bar{r}$ %/m
0.5	0.03	2.1	5.2	1.4	4.74	1.02	0.0254	6.1	4.86	2.0	4.4	1.02	0.029	6.68	6.4	2.18	5.81
1.0	0.057	4.0	5.0	1.33	4.51	2.05	0.044	10.5	4.2	1.71	3.8	2.04	0.0446	10.3	4.92	1.68	4.5
2.0	0.10	7.0	4.36	1.17	3.97	3.07	0.0614	14.71	4.0	1.6	3.55	4.15	0.076	17.53	4.13	1.41	3.76
3.0	0.143	10.0	4.16	1.11	3.76	4.14	0.074	17.73	3.5	1.43	3.18	6.36	0.105	24.23	3.72	1.27	3.4
4.0	0.164	11.43	3.6	0.95	3.22	5.21	0.092	22.04	3.45	1.41	3.1	8.8	0.148	34.15	3.8	1.29	3.45

TABLEAU B.I.1.

$B_{3,e}$						$B_{3,f}$						$B_{4,a}$					
G $N\ m^3/h$	$Kla^{min^{-1}}$	CO gO_2/h	ASN kgO_2/kwh	r %	$\bar{r}$ %/m	G $N\ m^3/h$	$Kla^{min^{-1}}$	CO gO_2/h	ASN kgO_2/kwh	r %	$\bar{r}$ %/m	G $N\ m^3/h$	$Kla^{min^{-1}}$	CO gO_2/h	ASN kgO_2/kwh	r %	$\bar{r}$ %/m
1.037	0.0169	7.94	3.74	2.55	3.4	1.047	0.018	10.81	3.98	3.44	3.62	1.027	0.0186	5.45	3.6	1.77	3.3
2.084	0.0314	14.74	3.46	2.36	3.14	2.1	0.0296	17.8	3.3	2.82	2.97	2.06	0.038	11.13	3.67	1.83	3.4
4.21	0.056	26.32	3.06	2.08	2.78	4.25	0.0526	31.6	2.87	2.5	2.61	3.1	0.0548	15.81	3.5	1.7	3.15
6.46	0.078	36.64	2.77	1.9	2.5	6.51	0.075	45.05	2.7	2.3	2.43	4.16	0.0644	18.87	3.07	1.51	2.8
8.9	0.106	49.8	2.74	1.86	2.48	9.0	0.0103	61.86	2.65	2.3	2.41	6.36	0.0936	27.4	2.93	1.44	2.7

TABLEAU B.I.1.

$B_{4,b}$						B_5						B_6					
G Nm^3/h	$Kla^{min^{-1}}$	CO gO_2/h	ASN KgO_2/Kwh	r %	$\bar{r}$ %/m	G Nm^3/h	$Kla^{min^{-1}}$	CO gO_2/h	ASN KgO_2/Kwh	r %	$\bar{r}$ %/m	G Nm^3/h	$Kla^{min^{-1}}$	CO gO_2/h	ASN KgO_2/Kwh	r %	$\bar{r}$ %/m
1.022	0.0252	6.36	5.2	2.07	4.71	0.477	0.0132	3.71	5.56	2.6	5.07	0.25	0.06	1.06	7.5	1,42	
2.05	0.043	10.8	4.4	1.76	3.99	0.95	0.0237	6.7	5.02	2.35	4.6	0.47	0.094	1.655	6.25	1.2	5.72
3.09	0.058	14.64	3.95	1.6	3.6	1.45	0.03	8.45	4.17	1.94	3.8	0.7	0.121	2.13	5.42	1.014	4.95
4.15	0.068	17.16	3.45	1.38	3.13	2.0	0.04	11.3	4.04	1.88	3.7	0.95	0.153	2.7	5.1	0.95	4.62
6.35	0.101	25.53	3.4	1.34	3.04	2.63	0.05	14.06	3.83	1.8	3.47	1.2	0.18	3.03	4.52	0.84	4.1
						3.71	0.064	18.2	3.5	1.63	3.2	1.44	0.203	3.6	4.43	0.833	4.07
						4.85	0.077	21.8	3.21	1.5	2.92	1.7	0.24	4.2	4.41	0.82	4.0
						6.0	0.0897	25.3	3.025	1.4	2.74	2.0	0.266	4.7	4.2	0.78	3.82
						7.16	0.107	30.3	3.02	1.41	2.75	2.57	0.33	5.8	4.02	0.75	3.7
						8.5	0.126	35.5	3.0	1.4	2.71						

TABLEAU B.I.1.

$B_{7,a}$ V = 4.673 m^3						$B_{7,b}$ (Lame souple), V = 6.025						$B_{7,b}$ (tube percé)						B_8					
G Nm^3/h	Kla^{-1} min	CO gO_2/h	ASN KgO_2/Kwh	r %	$\bar{r}$ %/m	G Nm^3/h	Kla^{-1} min	CO gO_2/h	ASN KgO_2/Kwh	r %	$\bar{r}$ %/m	G Nm^3/h	Kla^{-1} min	CO gO_2/h	ASN KgO_2/Kwh	r %	$\bar{r}$ %/m	G Nm^3/h	Kla^{-1} min	CO gO_2/h	ASN KgO_2/Kwh	r %	$\bar{r}$ %/m
20	0.08	220	3.0	3.7	2.74	30	0.086	310	2.2	3.44	2.0	10.8	0.030	108	2.14	3.09	2.25	205	0.034	3559.3	2.12	5.8	1.93
30	0.12	330	3.0	3.7	2.74	40	0.121	436.1	2.31	3.63	2.1	21.6	0.058	209.0	2.05	3.22	1.86	380	0.065	6803.3	2.2	5.97	1.98
40	0.15	412.4	2.8	3.44	2.55	50	0.15	540.55	2.3	3.6	2.1	32.7	0.09	324.2	2.1	3.3	1.9						
50	0.19	522.3	2.83	3.48	2.6	60	0.207	746.0	2.64	4.14	2.4	44.2	0.122	438.7	2.1	3.31	1.91						
60	0.2	550	2.5	3.05	2.26							52.4	0.155	528.7	2.255	3.36	1.94						

TABLEAU B.II - Résultats de transfert d'O_2 en fonction de la profondeur du diffuseur.

	H^* = 718 mm				H^* = 585 mm					H^* = 435 mm			
	$(\frac{H^*}{H}) = 0.96$				$(\frac{H^*}{H}) = 0.78$					$(\frac{H^*}{H}) = 0.58$			
G_N m^3/h	1.04	2.08	4.21	6.4	1.03	2.07	3.1	4.2	6.3	2.0	3.1	4.1	6.3
$Kla_{20°C}$ (min^{-1})	0.017	0.031	0.056	0.078	0.0138	0.026	0.036	0.049	0.065	0.021	0.03	0.036	0.0493

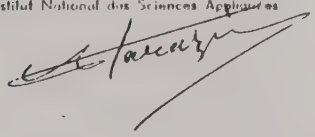
+ hauteur d'eau au-dessus du diffuseur H^*

+ hauteur d'eau H = 750 mm

+ diffuseur : tube percé

+ bassin B_3.

Autorisation de Soutenance accordée

Toulouse le 21.2.1983

Le Directeur
Institut National des Sciences Appliquées